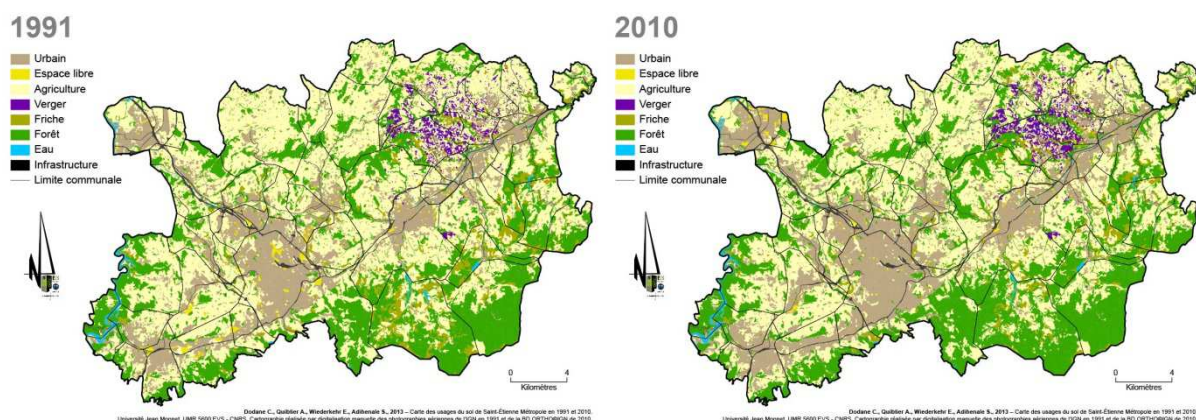


## ETU I.5 Diagnostic spatio-temporel



Contrat de Territoire Corridors Biologiques de Saint-Etienne Métropole est cofinancé par l'Europe



Clément Dodane<sup>1</sup>  
Pierre-Olivier Mazagol<sup>1</sup>  
Bernard Etlicher<sup>1</sup>



<sup>1</sup> CNRS UMR 5600 Environnement Ville Société  
Université Jean Monnet de Saint-Étienne - Université de Lyon

Mai 2014

## Table des matières

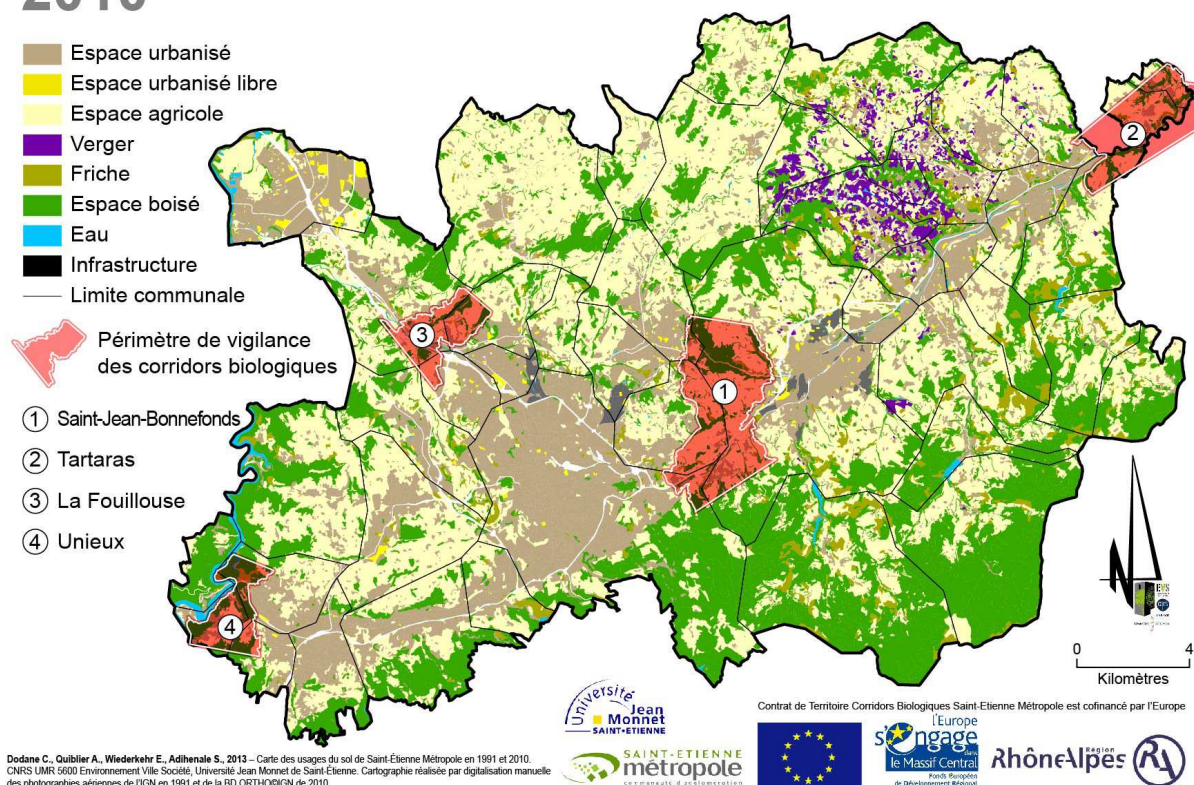
Introduction.....	3
I. Cartographie de l'utilisation du sol .....	7
I.1 Méthode et outil .....	7
I.2 Evolution de l'utilisation du sol entre 1991 et 2010 : changements et bilan.....	17
I.2.a Le corridor de Saint-Jean-Bonnefonds .....	17
I.2.b Le corridor de Tartaras.....	21
I.2.c Le corridor de La Fouillouse .....	25
I.2.d Le corridor d'Unieux.....	28
II. Analyse de la connectivité et de la fragmentation des espaces boisés des corridors .....	32
II.1 Méthode et outil .....	32
II.1.a Principes d'évaluation de la fragmentation .....	32
II.1.b Outil : SAGA GIS 2.1.1 et son module Fragmentation (Standard) .....	34
II.2 Résultats .....	35
II.2.a Le corridor de Saint-Jean-Bonnefonds .....	36
II.2.b Le corridor de Tartaras.....	41
II.2.c Le corridor de La Fouillouse .....	44
II.2.d Le corridor d'Unieux.....	47
III. Anticiper les évolutions de l'utilisation du sol : scénarios d'aménagement et simulations spatiales .....	50
III.1 Méthodologie générale de la démarche de géoprospective .....	50
III.2 Méthodes et outils des simulations spatiales.....	53
III.2.a Changements d'utilisation du sol entre 1991 et 2010 dans le territoire de Saint-Étienne Métropole .....	53
III.2.b Modélisation des changements d'utilisation du sol .....	56
III.2.c Simulation spatiale des évolutions de l'utilisation du sol .....	59
III.1 Résultats des simulations spatiales de l'utilisation du sol .....	60
III.1.a Scénario tendanciel .....	60
III.1.b Scénario planification.....	61
III.1.c Scénario densification.....	65
IV. Conclusion.....	67
Bibliographie.....	68
Annexe A Synthèse de la pré-étude de faisabilité d'un outil de géovisualisation .....	68

## Introduction

Le travail présenté ici fournit un diagnostic spatio-temporel temporel (étude I.5), à l'échelle des périmètres de vigilance des quatre corridors biologiques du territoire de Saint-Étienne Métropole (Saint-Jean-Bonnefonds, Tartaras, La Fouillouse et Unieux, voir Figure 1) inclus dans le Contrat de Territoire Corridors Biologiques (CTCB), initié par Saint-Étienne Métropole en 2011. L'étude s'appuie sur le concept d'utilisation du sol et sur des méthodologies qui ont permis :

- De réaliser la cartographie et le bilan des changements d'utilisation du sol du passé à l'actuel,
- D'analyser les indices de densité, connectivité et fragmentation de la mosaïque paysagère des espaces boisés,
- D'anticiper les évolutions de l'utilisation du sol à horizon 2030.

# 2010



**Figure 1 : Les quatre corridors biologiques du CTCB de Saint-Étienne Métropole**

Les travaux engagés par la composante ISTHME du laboratoire Environnement Ville Société CNRS - UMR 5600 de l'Université Jean Monnet de Saint-Étienne s'inscrivent dans une démarche de recherche qui a duré deux années, de 2012 à 2013. Au-delà de la durée effective du travail de recherche, l'Université Jean-Monnet aura été engagée dans le CTCB, comme maître d'ouvrage associé, depuis le lancement du projet en 2011 jusqu'au Comité de pilotage du 13 juin 2014, qui marquera sa sortie du projet.



La démarche de recherche qui a été mise en œuvre a permis de réfléchir et de travailler sur différentes méthodologies et différents outils, de les tester, d'observer la manière dont ils ont été appréhendés et utilisés par les acteurs techniques et enfin d'ouvrir au moins deux champs de perspectives. Premièrement, sur l'amélioration et l'enrichissement par la recherche des méthodologies et des outils développés, et deuxièmement, sur la transférabilité de certains outils prospectifs, notamment, vers l'opérationnel.

Le fil directeur de la démarche de recherche initiée ici est celui de la cohérence et de la pertinence d'une méthodologie d'ensemble qui a guidé les trois volets de l'étude 1.5 commanditée.

## Le problème

Le périmètre de vigilance des quatre corridors écologiques constitue le terrain d'étude. L'artificialisation et les transformations des milieux agricoles et naturels dans le territoire de Saint-Étienne Métropole ont un impact sur la fonctionnalité des corridors biologiques (voir Figure 2). Face à l'importance et à la rapidité des changements en cours, à la concurrence entre territoires voisins, à la complexité des paramètres à prendre en compte, les outils et méthodologies mobilisées dans ce travail apportent l'éclairage de la recherche sur un certains nombres de questions. Comment l'utilisation du sol a-t-elle évolué au cours des décennies passées au sein de chaque corridor ? Quelles influences ces changements d'utilisation du sol ont-ils eu sur la connectivité et la fragmentation des corridors ? Peut-on anticiper et visualiser les impacts des choix d'aménagement réalisés les corridors et l'espace environnant ?

In fine, c'est la question de la conciliation des enjeux du développement urbain / territorial aux enjeux écologiques du maintien des fonctionnalités des corridors qui est posée ? Notamment, en matière d'aménagement du territoire où l'un des problèmes, est que l'impact des choix d'aménagement n'est visible que 10 ou 20 ans après. En cas de mauvais choix, les aménagements sont souvent maintenus encore longtemps et les coûts de correction en matière de politiques publiques peuvent être élevés pour les collectivités locales.

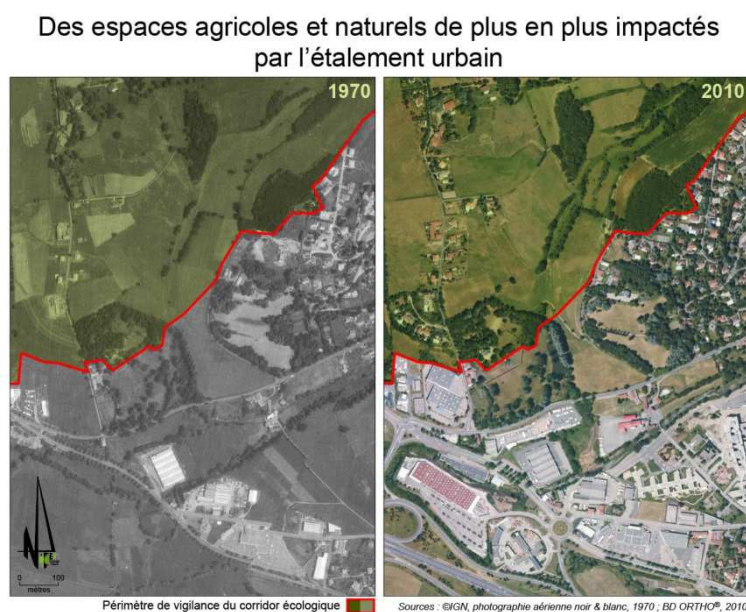


Figure 2 : La problématique de l'étalement urbain dans le corridor de La Fouillouse (1970-2010)



## Les choix dans la méthodologie générale de l'étude

Après le lancement des tests de construction de la méthodologie de cartographie de l'utilisation du sol basée sur les entités culturelles agricoles, il a fallu opérer un pivot car le temps imparti au volet 1 de l'étude n'aurait pas permis d'atteindre l'objectif de disposer d'une cartographie de l'utilisation du sol à deux dates, à minima, sur l'ensemble des quatre corridors du Contrat de Territoire Corridors Biologiques (CTCB). Le choix a donc été fait de se focaliser, non plus sur trois dates comme initialement envisagé, mais seulement sur la période du passé proche à savoir les vingt dernières années. Ce choix nous a paru cohérent dans le sens où les conditions socio-économiques et sociétales de la période 1990-2010 ne sont finalement pas si éloignées des conditions actuelles, ou tout du moins liées. Cela n'est pas le cas de la période 1970-1990 qui correspondait à un modèle révolu.

Le choix d'une nouvelle méthodologie de cartographie de l'utilisation du sol, dans le volet 1 nous a conduits, dans le volet 2 de la présente étude, à nous focaliser plutôt sur l'analyse de la densité, de la connectivité et de la fragmentation des espaces boisés au sein des quatre corridors que sur celle des espaces agricoles qui représentent un enjeu moindre pour le déplacement de la faune sauvage. L'analyse de la fragmentation de l'espace agricole n'étant plus possible après l'abandon de la méthodologie de cartographie de l'utilisation du sol intégrant les entités culturelles agricoles. Toutefois, l'étude de la densité, de la connectivité et de la fragmentation des espaces boisés nous a permis de développer une annexe au volet 2, sur la communication des enjeux liés à la fonctionnalité des corridors à travers la cartographie. Le travail a porté sur le corridor de Saint-Jean-Bonnefonds.

Enfin, le volet 3 qui était optionnel dans le montage du projet d'étude initial a été mis en œuvre à l'échelle de Saint-Étienne Métropole, à travers une démarche de prospective territoriale couplée à des simulations spatiales de scénarios d'aménagement du territoire. L'objectif était de pouvoir anticiper les évolutions de l'utilisation du sol, à horizon 2030 (celui du Schéma de Cohérence Territoriale de Loire Sud), dans un territoire de planification faisant sens et qui englobait beaucoup plus largement l'espace autour des quatre corridors du CTCB, de telle sorte qu'il soit possible de visualiser et de jauger les contraintes exogènes aux corridors et d'en visualiser l'impact possible à travers les résultats cartographiques de simulations spatiales de scénarios. Ainsi, le volet 3 a bénéficié, non seulement des avancées méthodologiques concernant la cartographie de l'utilisation du sol (volet 1), mais aussi du soutien de la Direction de l'Aménagement du Territoire de Saint-Étienne Métropole et enfin de l'apport de plusieurs stagiaires du laboratoire ISTHME pour la réalisation de la cartographie de l'utilisation du sol dans l'ensemble du territoire de Saint-Étienne Métropole.

## Les résultats obtenus et le plan de l'étude

À l'issue de l'étude, les principaux résultats obtenus dans les trois volets sont décrits ci-après.

### **Volet 1.** Sur la cartographie de l'utilisation du sol.

- Une méthodologie générale,
- Une cartographie de l'utilisation du sol à 2 dates (1991 et 2010), à l'échelle des quatre corridors,
- Un bilan, des cartographiques et des tableaux de synthèse des évolutions et des changements de l'utilisation du sol entre 1991 et 2010, à l'échelle des quatre corridors,
- Des perspectives de recherche pour développer des techniques de cartographie semi-automatique de l'utilisation du sol.

**Volet 2.** Sur la densité, la connectivité et la fragmentation des espaces boisés au sein des quatre corridors, en intégrant une zone tampon de 500 m.

- Le test d'une méthodologie de calculs d'indices de la densité, de la connectivité et de la fragmentation des espaces boisés issue de la littérature scientifique,
- Des cartographies de la densité, de la connectivité et de la fragmentation des espaces boisés en 1991 et 2010, à l'échelle des quatre corridors,
- Des perspectives pour coupler cartographie à dires d'experts et méthodes outillées, avec pour but de proposer une cartographie communicative des enjeux.

**Volet 3.** Sur l'anticipation des évolutions de l'utilisation du sol à partir de scénarios d'aménagement du territoire.

- Une cartographie de l'utilisation du sol à 2 dates (1991 et 2010), à l'échelle de Saint-Étienne Métropole (607 km<sup>2</sup>),
- La mise en œuvre d'une démarche prospective territoriale innovante, en collaboration avec Saint-Étienne Métropole, comprenant :
  - o 3 ateliers de prospective territoriale (1/2 journée chacun, une vingtaine de participants à chaque fois),
  - o Un diagnostic sur le fonctionnement territorial de Saint-Étienne Métropole,
  - o Une liste des facteurs de changement, des dynamiques à venir de l'utilisation du sol de Saint-Étienne Métropole,
  - o Un modèle d'évolution de l'utilisation du sol de Saint-Étienne Métropole,
  - o Des scénarios prospectifs,
  - o Des simulations spatiales des scénarios d'évolutions de l'utilisation du sol de Saint-Étienne Métropole à horizon 2030,
  - o Un Système d'Information Géographique regroupant l'ensemble des données collectées et produites dans le cadre de l'étude.
- Une pré-étude de faisabilité d'un outil de géovisualisation pour le partage des données géographiques produites dans le cadre du CTCB par l'ensemble des maîtres d'ouvrage associés (à la fois outil de suivi scientifique, technique et d'aide à la décision),

Le plan du rapport est structuré en trois parties autour des trois volets. La première partie est consacrée à la cartographie de l'utilisation du sol de Saint-Étienne Métropole passée et actuelle. Elle comporte un bilan et une analyse des changements survenus entre 1991 et 2010. La deuxième partie porte sur le test d'une méthodologie de calculs d'indices de la densité, de la connectivité et de la fragmentation de la mosaïque paysagère des espaces boisés. Enfin, la troisième partie décrit la mise en œuvre d'une démarche de prospective territoriale couplée à des simulations spatiales des évolutions de l'utilisation du sol de Saint-Étienne Métropole à l'horizon 2030.

## I. Cartographie de l'utilisation du sol

Les notions d'utilisation et d'occupation du sol sont distinctes mais complémentaires et souvent abordées de manière conjointe, comme en témoigne le terme anglais LULC (Land Use and Land Cover). Le concept d'occupation du sol renvoie aux propriétés physiques de la surface terrestre (par ex. : sol boisé, sol nu, sol herbacé, zone humide, sol imperméabilisé, etc.) alors que l'utilisation ou l'usage du sol sont des notions fondées sur les fonctions économiques et sociales de l'occupation du sol (par ex : forêt de production, prairie, champ, zone économique, lotissement, etc.). L'occupation du sol et l'usage du sol sont étroitement liés : l'occupation du sol conduit à un certain usage de celui-ci et la conversion de l'usage d'un sol en un autre usage engendre des modifications de l'occupation du sol (Turner *et al.*, 1995).

### I.1 Méthode et outil

Le travail de cartographie de l'utilisation du sol a porté sur le périmètre de vigilance des quatre corridors biologiques du CTCB de Saint-Étienne Métropole, incluant une zone tampon de 500 mètres autour de ceux-ci (voir Tableau 1).

Corridor biologique	Superficie du périmètre de vigilance (ha)	Superficie de la zone tampon de 500m autour du périmètre de vigilance (ha)
Saint-Jean-Bonnefonds	1 646	2 775
Tartaras	1 042	1 897
La Fouillouse	522	1 231
Unieux	516	1 253
<b>Total des 4 corridors</b>	<b>3 726</b>	<b>7 156</b>

Tableau 1 : Superficie des corridors biologiques du CTCB de Saint-Étienne Métropole

Au montage du projet, il avait été envisagé de cartographier l'utilisation du sol, à trois dates pour chacun des corridors (1970, 1990 et 2010 en fonction des données disponibles), et ce à l'échelle de l'entité culturelle dans les espaces agricoles et à celle de la parcelle cadastrale dans le reste du territoire.

Un test a été conduit sur deux des quatre corridors biologiques, celui de La Fouillouse et celui d'Unieux, à l'échelle du périmètre de vigilance, avant de systématiser la méthode dans les autres corridors. La méthodologie est détaillée dans l'encadré ci-dessous (voir Figure 5). Si le résultat a été concluant en terme de qualité de la cartographie de l'utilisation du sol obtenue (notamment en ce qui concerne l'échelle d'interprétation de l'ordre du 1/1000<sup>e</sup>, ainsi que sur la taille minimale des unités cartographiées, jusqu'à 0,01 ha ou 100 m<sup>2</sup>) ; il est apparu, en revanche, que le temps nécessaire à la réalisation de cette cartographie fine de l'utilisation du sol était important. Nous l'avons estimé à 2 mois de travail pour les deux corridors de La Fouillouse et d'Unieux, soit approximativement 7 mois rapporté à la superficie des périmètres de vigilance des quatre corridors (le financement du volet Université Jean Monnet de Saint-Étienne de l'ETU 1.5 portait sur 9 mois de Post-Doctorant, hors congés).

Dès lors, il a fallu opter pour une autre solution, moins coûteuse en temps et plus simple de mise en œuvre. Le choix a porté sur deux dates au lieu de trois. La fin des années 1960 et le début des années 1970 correspondent à une époque charnière sur le plan agricole et donc



sur les paysages agricoles. L'année 1970 se positionne avec les grandes opérations de remembrement du foncier agricole et de modernisation poussée du machinisme agricole. C'est également vrai en termes d'infrastructures de transport ; la construction de l'A72 n'étant pas encore débutée et celle de l'A47 ne datait que de quelques années (milieu années 1960). Il s'agit donc d'un état des lieux reflétant un contexte socio-économique et sociétal passé et pour ainsi dire relativement éloigné de la situation actuelle.

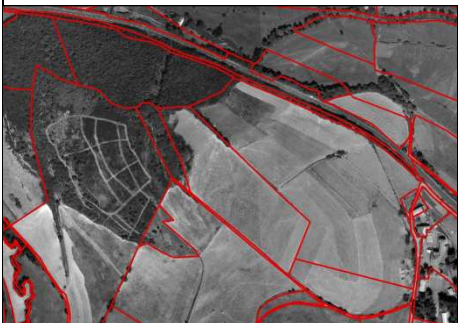



Il était donc plus judicieux et opportun de comparer le début des années 1990 (1991 exactement, les clichés papier nous ayant été fournis gracieusement par le Conseil Général de la Loire) à l'année 2010. Le modèle de développement des années 1990 et 2000 est resté globalement le même. Ce constat a été validé par les acteurs du territoire lors des ateliers de prospective territoriale organisés dans le cadre de la présente étude.

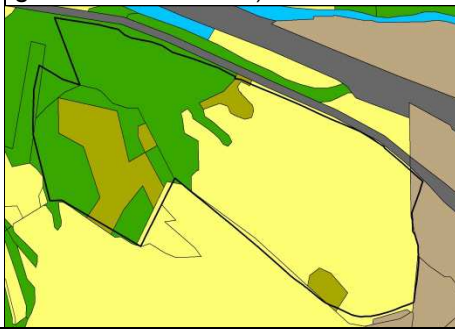


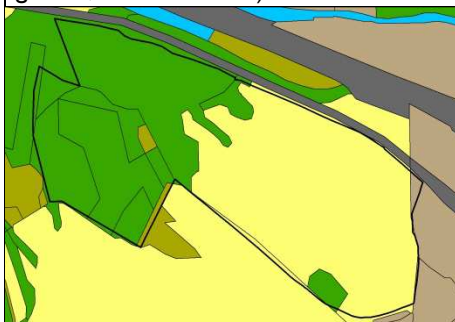
Outre le choix de se concentrer sur les deux années 1991 et 2010, l'échelle d'interprétation de l'utilisation du sol correspond à celle du cadastre, à savoir le 1/2000<sup>e</sup> notamment dans les espaces urbanisés, et la taille minimale des unités cartographiées a été ramenée à 0,1 ha ou 1000 m<sup>2</sup>. La trame polygonale de la cartographie de l'occupation du sol n'est plus strictement celle de la BD Parcelle de l'IGN, elle a été créée par digitalisation manuelle en s'appuyant, selon les cas, sur le tracé de la BD Parcelle de l'IGN. Dès lors, il n'était plus possible de réaliser une analyse rétrospective de l'évolution de la structure du parcellaire agricole. L'étude conduite a donc porté sur la densité, la connectivité et la fragmentation des espaces boisés.

Dans les espaces boisés, la méthode de cartographie de l'utilisation du sol que nous nommons par "entités culturelles" (en référence aux entités culturelles agricoles identifiables sur prises de vues aériennes anciennes et BD Ortho actuelle) n'est pas réalisable. En l'absence de coupe récente, l'entité culturelle, qui n'est pas nécessairement la parcelle cadastrale boisée, ne peut être identifiée sur photographie aérienne. Il faudrait pour cela d'une part, disposer des données propriétaires (un même propriétaire peut avoir plusieurs parcelles cadastrales boisées et pratiquer un même type de gestion et donc de coupe sur cet ensemble) et d'autre part, des versions anciennes du cadastre à telle date (ce qui n'existe pas sous forme digitalisée, au mieux numérique et probablement papier). Rappelons que dans les espaces boisés au sein des quatre corridors appartiennent très majoritairement à des petits et moyens propriétaires privés par la surface qu'ils détiennent (caractéristique générale des nouvelles forêts françaises).

Comme le montre la Figure 3, la trame polygonale de la BD Parcelle ©IGN en 2010, qui a servi de référence pour les tests menés dans les corridors de La Fouillouse et d'Unieux, ne constitue en réalité qu'un "squelette", à partir duquel de nouveaux polygones seront créés par digitalisation manuelle et interprétation, à partir des prises de vue aériennes (1967 et 1991) et de la BD Ortho ©IGN de 2010. Ainsi la référence de la BD Parcelle ©IGN en 2010, sur le périmètre test présenté ici permet d'identifier 7 parcelles cadastrales, qui deviennent après digitalisation et interprétation 27 polygones en 1967, 30 en 1991 et 22 en 2010. Cela correspond à un coefficient multiplicateur compris entre 3 et 4 dans l'exemple présenté. À l'échelle du corridor de La Fouillouse, le nombre de parcelles digitalisées en 2010 et 1991 correspond à 130% du nombre de parcelles cadastrales en 2010. Le ratio est équivalent pour l'année 1967 dans le corridor d'Unieux, commune où visiblement il n'y aurait pas eu de remembrement agricole à l'observation du parcellaire cadastral (voir Figure 4). La cartographie de l'utilisation du sol des entités culturelles agricoles du corridor de La Fouillouse comporte 1250 polygones digitalisés en 2010 et 1249 en 1991 (la diminution des entités culturelles agricoles entre 1991 et 2010 est dans le cas de La Fouillouse compensée par l'augmentation du nombre des parcelles urbanisées gagnée sur l'espace agricole). Pour le corridor d'Unieux, leur nombre est de 1890 en 1967. C'est donc de l'ordre de 30 à 35000

parcelles digitalisées qu'il aurait fallu interpréter à l'échelle des quatre corridors. À cela, il a fallu nécessairement tenir compte de la qualité des prises de vues aériennes anciennes. L'échelle des prises de vues aériennes de l'année 1967 est approximativement le 1/10000<sup>e</sup>, alors que celle de la mission de 1991 est le 1/30000<sup>e</sup> (voir Tableau 2). La taille des pixels et la qualité des images diffèrent entre 1967 et 1991. La difficulté d'interprétation joue de ces différences. En 1967, il est possible d'identifier un champ de pommes de terre, des gerbes de foin fraîchement fauché, etc. Alors qu'en 1991, les nuances relèvent plutôt de l'ordre de la différence de couleur de pixel, ce qui ne permet pas le même niveau d'interprétation. L'image de 1967 en niveaux de gris est celle qui permet de tirer le plus d'informations, en terme d'interprétation de l'utilisation du sol par "entités culturelles". De plus, les prises de vues aériennes des années 1970 et de l'année 1991 ont dû être scannées, préparées et géoréférencées manuellement. En 2012 et 2013, quand ce travail a été réalisé, le laboratoire ne disposait pas encore de la technicité permettant de réaliser un mosaïquage de l'ensemble des prises de vues aériennes d'une année. Il s'en est suivi que chacune des images a dû être géoréférencée manuellement à l'aide d'environ 300 points pris comme référence sur le cadastre. Pour le corridor de La Fouillouse ce n'est pas moins de 3300 points de contrôle qui ont été relevés, soit quelques 20 à 25000 pour les quatre corridors. L'ensemble des raisons évoquées ci-dessous justifient le choix opéré de la simplification de la cartographie de l'utilisation du sol, eu égard à l'impossibilité de la réaliser dans de bonnes conditions, dans l'ensemble des quatre corridors, sur le temps financé.

Images utilisées pour l'interprétation et la digitalisation de l'utilisation du sol	Nbre de parcelles cadastrales (BD Parcelle ©IGN 2010)	Résultats de la cartographie de l'utilisation du sol selon la méthode retenue	Nbre d'entités digitalisées
<b>1967</b> (résolution de l'image : pixel de 0,20 m.)			
		Référence : trame polygonale cadastrale 2010 Digitalisation manuelle des entités culturelles (espace agricole) et des entités d'usages (espace boisé et friche)	
	<b>Total : 7</b> dont : - Agricoles : 4 - Boisées et en friche : 3		<b>Total : 27</b> dont : - Agricoles : 17 - Boisées et en friche : 10
<b>1991</b> (résolution de l'image : pixel de 0,85 m.)			
		Référence : trame polygonale cadastrale 2010 Digitalisation manuelle des entités culturelles (espace agricole) et des entités d'usages (espace boisé et friche)	
	<b>Total : 7</b> dont : - Agricoles : 4 - Boisées et en friche : 3		<b>Total : 30</b> dont : - Agricoles : 13 - Boisées et en friche : 17

Référence : trame polygonale digitalisation manuelle à partir de la BD Parcelle ©IGN 2010 Digitalisation manuelle des entités d'usages (espace agricole, boisé et friche)				<b>Agricoles :</b> 1 Boisées et en friche : 9
<b>2010</b> (résolution de l'image : pixel de 0,50 m.)				
Référence : trame polygonale cadastrale 2010 Digitalisation manuelle des entités culturelles (espace agricole) et des entités d'usages (espace boisé et friche)				<b>Total : 7</b> <b>dont :</b> - <b>Agricoles</b> : 4 - Boisées et en friche : 3
Référence : trame polygonale digitalisation manuelle à partir de la BD Parcelle ©IGN 2010 Digitalisation manuelle des entités d'usages (espace agricole, boisé et friche)				<b>Total : 22</b> <b>dont :</b> - <b>Agricoles</b> : 10 - Boisées et en friche : 11
Référence : trame polygonale digitalisation manuelle à partir de la BD Parcelle ©IGN 2010 Digitalisation manuelle des entités d'usages (espace agricole, boisé et friche)				<b>Agricoles :</b> 1 Boisées et en friche : 9

**Figure 3 : Influence de la méthodologie de cartographie de l'utilisation du sol sur le nombre d'entités polygonales digitalisées**




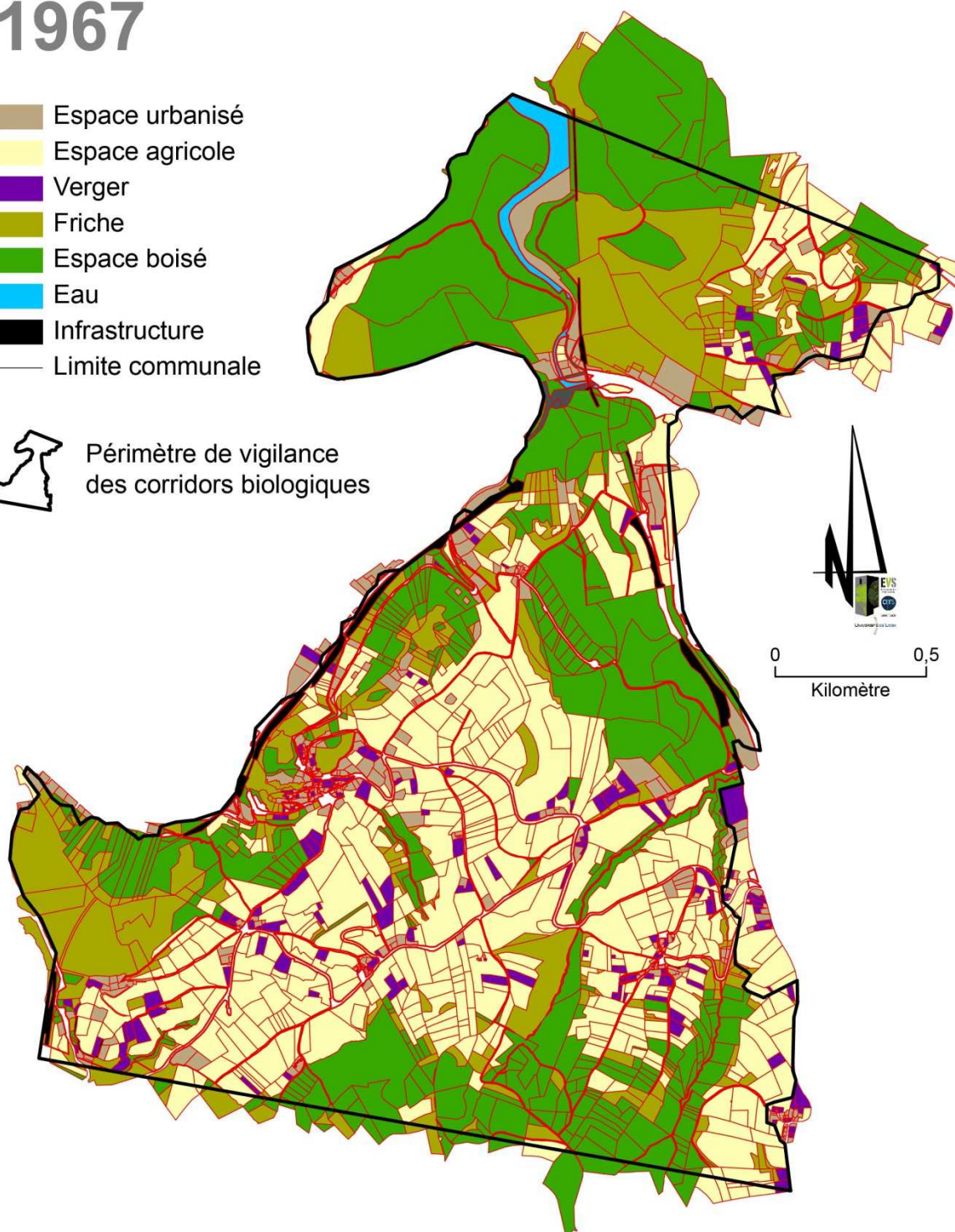
<b>années 1970</b>					
Nom de la mission	N° du cliché	Echelle	Date de prise de vue	Radiométrie	Couverture
C2933-0271_1967_CDP5428	129	1/8845	01/01/1967	niveaux de gris	principale
C2933-0271_1967_CDP5428	131	1/8882	01/01/1967	niveaux de gris	principale
C2933-0271_1967_CDP5428	133	1/8987	01/01/1967	niveaux de gris	principale
C2933-0271_1967_CDP5428	135	1/8875	01/01/1967	niveaux de gris	principale
C2933-0271_1967_CDP5428	151	1/9009	01/01/1967	niveaux de gris	principale
C2933-0271_1967_CDP5428	153	1/9000	01/01/1967	niveaux de gris	principale
C2933-0271_1967_CDP5428	172	1/8980	01/01/1967	niveaux de gris	principale
C2832-0221_1974_CDP6148	7956	1/7196	27/07/1974	niveaux de gris	principale
C2933-0081_1970_F2933-3233	135	1/28019	22/06/1970	niveaux de gris	complémentaire
<b>années 1990</b>					
Nom de la mission	N° du cliché	Echelle	Date de prise de vue	Radiométrie	Couverture
C91SAA2082	1116	1/20180	22/07/1991	couleur	principale
C91SAA2082	447	1/19440	28/05/1991	couleur	principale
<b>2010</b>					
Nom de la dalle			Date de prise de vue	Radiométrie	Couverture
2010_0800_6490.ecw	-	-	/05/2010	couleur	principale
2010_0805_6490.ecw	-	-	/05/2010	couleur	principale
2010_0805_6495.ecw	-	-	/05/2010	couleur	principale

**Tableau 2 : Couverture en images aériennes du corridor de La Fouillouse (1970, 1990 et 2010)**

# 1967

- Espace urbanisé
- Espace agricole
- Verger
- Friche
- Espace boisé
- Eau
- Infrastructure
- Limite communale

 Périmètre de vigilance  
des corridors biologiques



Contrat de Territoire Corridors Biologiques Saint-Etienne Métropole est cofinancé par l'Europe



Dodane C., 2012 – Carte des usages du sol dans le corridor d'Unieux en 1967. CNRS UMR 5600 Environnement Ville Société, Université Jean Monnet de Saint-Étienne. Cartographie réalisée par digitalisation manuelle des photographies aériennes de l'IGN en 1967 à partir de la trame polygonale de la BD PARCELLE©IGN de 2010.

**Figure 4 : L'utilisation du sol dans le corridor d'Unieux en 1967**

## **1. Identification des missions aériennes et téléchargement**

Ce travail peut être réalisé sur le site du Géoportail : <http://www.geoportail.gouv.fr/accueil>, rubrique Remonter le temps, item Les prises de vues aériennes.

En fonction du périmètre d'étude, de la date considérée (il peut exister plusieurs missions pour une même année avec des prises de vue à différentes saisons), des missions disponibles, de l'échelle des clichés, de la date de prise de vue et de la radiométrie, il s'agit d'identifier les images nécessaires qui serviront à l'interprétation de l'utilisation du sol.

Deux possibilités de récupération des prises de vues aériennes existent. Soit, la mission est dématérialisée et il est possible de télécharger directement le cliché depuis le site du Géoportail (au format JPEG 2000), soit la mission n'est pas dématérialisée et il faut se tourner vers l'IGN pour établir un devis.

Le téléchargement des clichés permet de récupérer une image brute de bonne qualité, mais pas optimale. De plus, la correction de la géométrie, la rectification, le mosaïquage (si plusieurs clichés), le traitement radiométrique sont à réalisés en fonction des besoins par l'utilisateur. Cela peut faire l'objet d'un devis auprès de l'IGN.

## **2. Géoréférencement des prises de vues aériennes**

Les clichés papier des prises vues aériennes (année 1991) sont scannés à haute résolution et enregistrés au format JPEG et TIFF.

Les images (années 1970 téléchargées sur le site du Géoportail et 1991) sont ensuite préparées de façon à supprimer la bordure noire autour à l'aide d'un logiciel de retouche d'image (ici XnView, libre de droit). Au préalable, il peut être nécessaire de convertir l'image dans un format facilement lisible par un SIG (du JPEG 2000 au format JPEG pour les images téléchargées sur le site du Géoportail). Cette opération a été réalisée avec le logiciel InfranView (libre de droit).

Les images sont géoréférencées manuellement et individuellement. En 2012 et 2013, quand ce travail a été réalisé, le laboratoire ne disposait pas encore de la technicité permettant de réaliser un mosaïquage de l'ensemble des prises de vues aériennes d'une année afin de n'avoir à géoréférencer qu'une seule image. Dans le cas de la cartographie de l'utilisation du sol où la référence en matière d'interprétation est le cadastre, il est nécessaire d'aligner l'image raster sur le cadastre en faisant correspondre un maximum de points de contrôle (Figure 6). Ici, c'est en moyenne 300 points de contrôle qui ont été utilisés par image. La transformation choisie est "Spline".

Le logiciel utilisé est ArcGis et son module de géoréférencement (voir <http://resources.arcgis.com/fr/help/main/10.1/index.html#//009t000000mp000000>).

Une fois le géoréférencement terminé, l'image raster est rectifiée ou déformée pour créer un nouveau jeu de données raster qui est géoréférencé à l'aide des coordonnées cartographiques et de la référence spatiale.

Perspectives : l'expérience technique acquise dans le cadre de l'étude, mais aussi les lacunes et les difficultés identifiées, en matière de cartographie de l'utilisation du sol ont conduit l'équipe vers un nouveau champ de recherche qui touche à l'automatisation des différentes phases (mosaïquage automatique, orthorectification, géoréférencement automatique, création automatique de la trame polygonale, etc.). Ces travaux débutent et bénéficient de l'apport d'une thèse Cifre au laboratoire.

## **3. Digitalisation et interprétation de l'utilisation du sol**

La trame polygonale est créée manuellement par digitalisation à partir de la DB Ortho 2010 de l'IGN.



L'interprétation de l'utilisation du sol est réalisée manuellement en visualisant les différentes photographies aériennes.

La base de la cartographie de l'utilisation du sol est construite sur l'année la plus récente (ici 2010).



Cette base est ensuite superposée aux images anciennes (ici 1991) afin de permettre le découpage ou la combinaison des polygones de 2010 en fonction de l'interprétation qui est faite des évolutions rétrospectives de l'utilisation du sol.

La description de la typologie de l'utilisation du sol utilisée dans la cartographie à l'échelle des quatre corridors, ainsi que dans l'ensemble du territoire de Saint-Etienne Métropole, est détaillé ci-dessous (voir Figure 7)





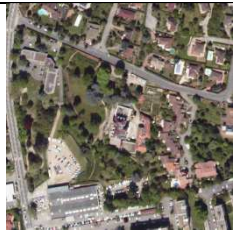









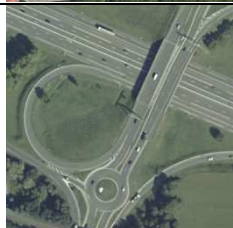

**Figure 5 : Méthodologie pour la réalisation de la cartographie de l'utilisation du sol actuelle et passée**



**Figure 6 : Implantation des points de contrôle pour le géoréférencement manuel d'une image raster (ici correspondance avec le cadastre)**

ID	LIBELLÉ	BDORTHO 2010	+ CADASTRE
I	Espace urbanisé (centre ancien, habitat pavillonnaire, habitat collectif, grande propriété, exploitation agricole, équipement, zone économique)		



	Zone économique (regroupe tous les types : ZI, ZA, ZE, etc.)		
	Équipement (regroupe tous les types : terrains de sport, lycée, collège, école, centre de loisirs, cimetière, etc.)		
	Grande propriété : maison bourgeoise avec parc arboré		
	Habitat collectif		
	Centre ancien : habitat ancien continu aligné sur la rue		
	Exploitation agricole		
	Habitat individuel de type pavillonnaire		
22	Infrastructure de transport (autoroute, voie ferrée)		















5	Espace agricole (surface en herbe, permanente ou temporaire, et labour indifférenciés)		
	Jardin		
52	Verger		
6	Forêt (feuillus et conifères indifférenciés)		
7	Friche (végétation arbustive et arborée basse et taux de couverture égale ou inférieur à 50-75%)		
8	Eau (retenue de barrage, rivière, cours d'eau, mare)		
9	Espace libre urbain (espace urbanisé ne comportant pas de bâti quel qu'il soit à l'instant t)		

Figure 7 : Typologie détaillée de l'utilisation du sol des corridors biologiques



## I.2 Evolution de l'utilisation du sol entre 1991 et 2010 : changements et bilan

### I.2.a Le corridor de Saint-Jean-Bonnefonds

La superficie du périmètre de vigilance du corridor de Saint-Jean-Bonnefonds est de 1646 ha. Une zone tampon de 500 m autour du périmètre de vigilance a été appliquée ; elle porte la superficie de la cartographie de l'utilisation du sol à 2775 ha (non représentée sur les cartographies suivantes).

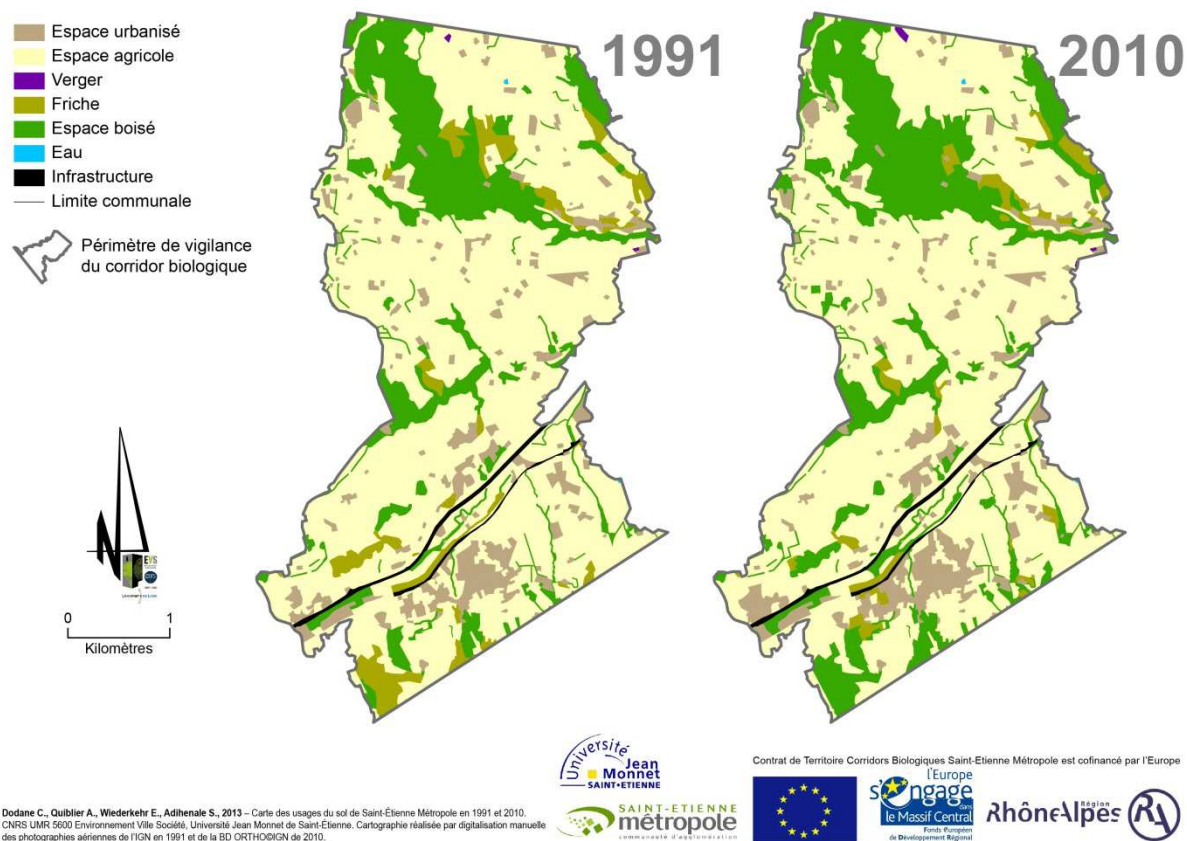


Figure 8 : Utilisation du sol dans le corridor de Saint-Jean-Bonnefonds en 1991 et 2010

En 2010, l'utilisation du sol dans le corridor de Saint-Jean-Bonnefonds est avant tout agricole et forestière (respectivement 64% et 23%) (Figure 8). Le bilan des évolutions de l'utilisation du sol dans le corridor de Saint-Jean-Bonnefonds montre l'importance de la dynamique de boisement à partir du réservoir des friches notamment (Tableau 3 et Figure 7). Fiches qui continuent d'être alimentées par l'abandon de surface agricole, mais dont la diminution du stock a importante entre 1991 et 2010 (passant de 83 à 48 ha). Les espaces agricoles ont perdu 61 ha durant la période, dont un peu moins du 1/3 de la surface a été urbanisé (Tableau 4 et Tableau 14).

Utilisation du sol	1991		2010	
	Superficie (ha)	En rapport à la surface totale	Superficie (ha)	En rapport à la surface totale
Espace urbanisé	139	8%	156	9%
Espace urbanisé libre	1	0%	1	0%
Espace agricole	1 112	68%	1 051	64%
Verger	1	0%	1	0%
Espace boisé	292	18%	371	23%
Friche	83	5%	48	3%
Eau	0	0%	0	0%
Infrastructure	18	1%	18	1%
	1 646	100%	1 646	100%

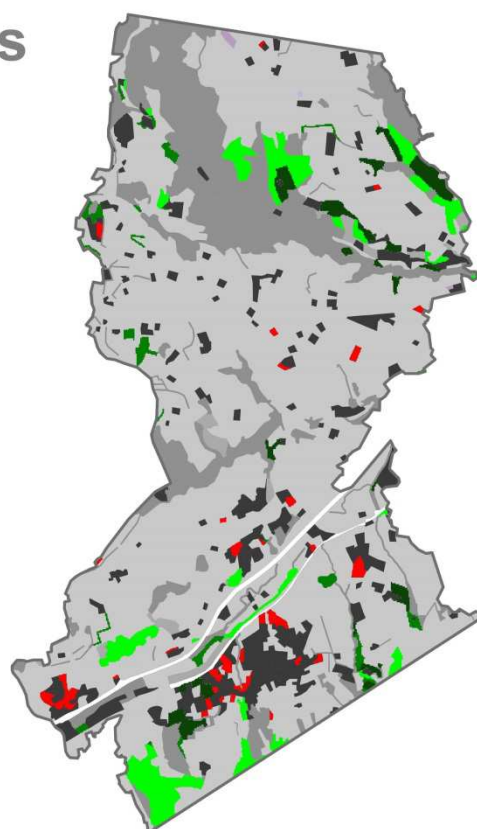
**Tableau 3 : Importance surfacique des différents types d'utilisation du sol dans le corridor de Saint-Jean-Bonnefonds en 1991 et 2010**

## 1991-2010 changements

- Friche vers espace boisé
- Espace agricole vers friche
- Espace agricole vers espace urbanisé
- Espace agricole vers espace boisé
- Espace urbanisé
- Espace agricole
- Verger
- Friche
- Espace boisé
- Eau
- Infrastructure



Périmètre de vigilance du corridor biologique



Contrat de Territoire Corridors Biologiques Saint-Étienne Métropole est cofinancé par l'Europe  

 Région Rhône-Alpes  
 le Massif Central  
 Parc Régional de Développement Rural  
 Dodane C., Quiblier A., Wiederkehr E., Adhenale S., 2013 – Carte des usages du sol de Saint-Étienne Métropole en 1991 et 2010.  
 CNRS UMR 5600 Environnement Ville Société, Université Jean Monnet de Saint-Étienne. Cartographie réalisée par digitalisation manuelle des photographies aériennes de l'IGN en 1991 et de la BD ORTHOIGN de 2010.

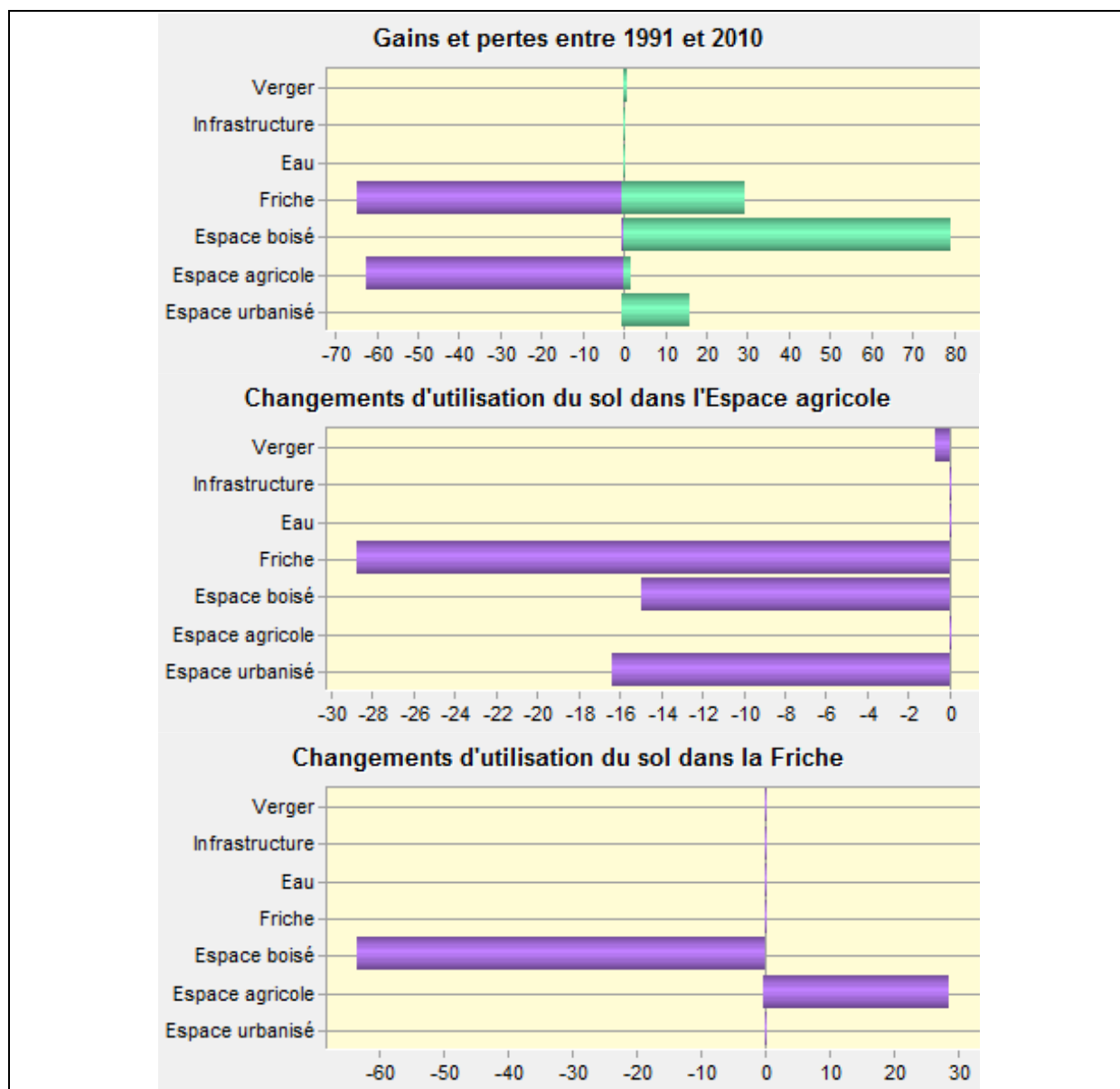
**Figure 9 : Changements d'utilisation du sol dans le corridor de Saint-Jean-Bonnefonds entre 1991 et 2010 (pour les transitions de plus d'1 ha)**

Transitions	Superficie (ha)
Friche vers Espace boisé	63,5
Espace agricole vers Friche	29,7
Espace agricole vers Espace urbanisé	16,4
Espace agricole vers Espace boisé	15,7

**Tableau 4 : Superficie des changements d'utilisation du sol dans le corridor de Saint-Jean-Bonnefonds entre 1991 et 2010**

Dans le périmètre de vigilance du corridor biologique de Saint-Jean-Bonnefonds, le bilan des pertes et des gains entre les types d'utilisation du sol sur la période 1991-2010 (Figure 10) montre que :

- Les espaces agricoles ont perdu 63 ha et gagné 2 ha (solde net = - 61 ha).
- Les vergers ont perdu 0 ha et gagné 1 ha (solde net = + 1 ha).
- Les espaces boisés ont perdu 1 ha et gagné 79 ha (solde net = + 78 ha).
- Les friches ont perdu 65 ha et gagné 30 ha (solde net = - 35 ha).
- Les espaces urbanisés ont gagné 17 ha (solde net = + 17 ha).
- Les surfaces en eau et les infrastructures sont restées les mêmes.



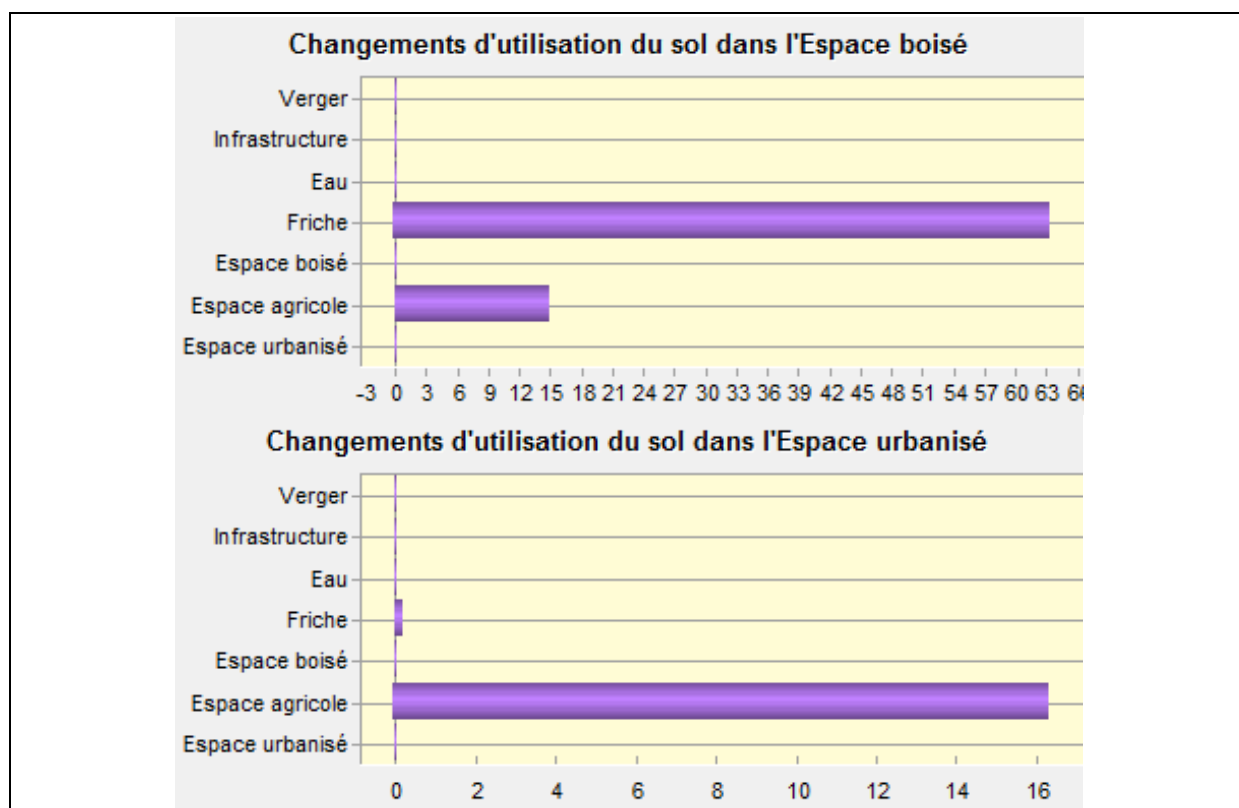


Figure 10 : Soldes bruts et nets des changements entre les différents types d'utilisation du sol dans le corridor biologique de Saint-Jean-Bonnefonds entre 1991 et 2010 (en ha)

### 1.2.b Le corridor de Tartaras

La superficie du périmètre de vigilance du corridor de Saint-Jean-Bonnefonds est de 1042 ha. Une zone tampon de 500 m autour du périmètre de vigilance a été appliquée ; elle porte la superficie de la cartographie de l'utilisation du sol à 1897 ha (non représentée sur les cartographies suivantes).

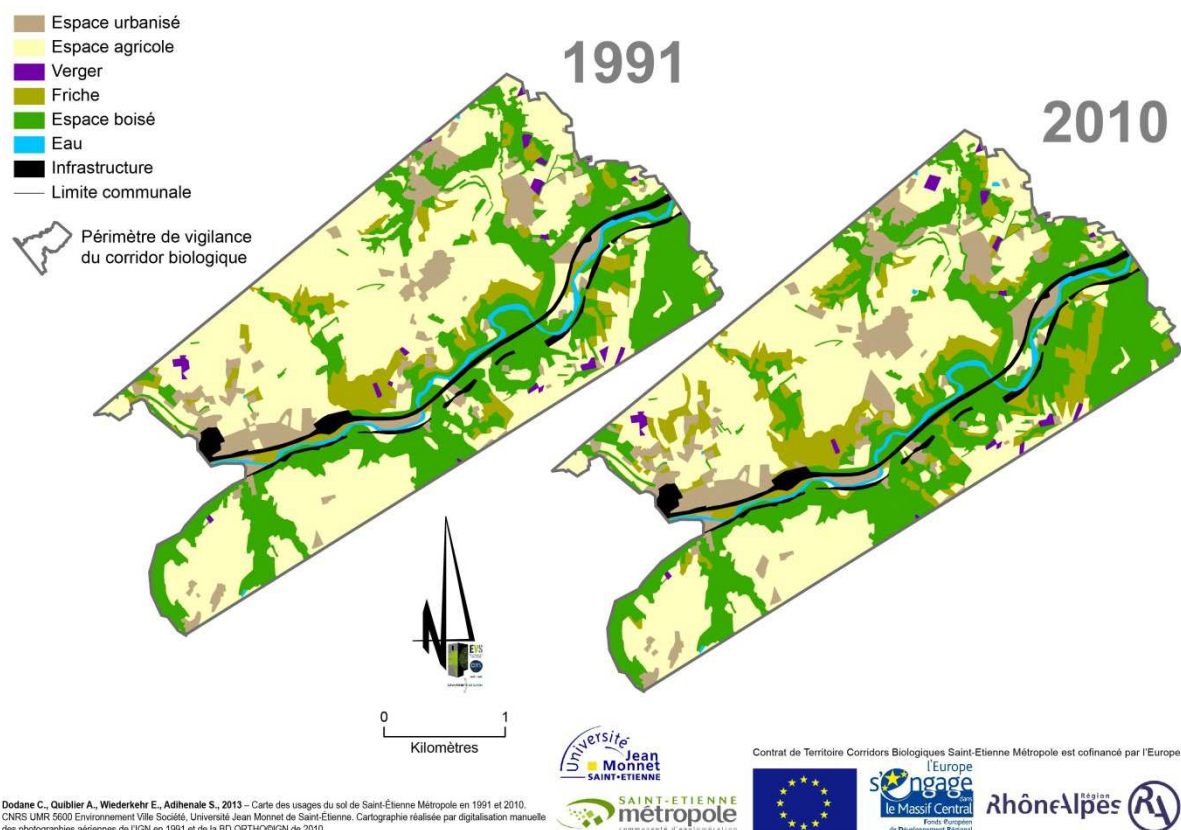


Figure 11 : Utilisation du sol dans le corridor de Tartaras en 1991 et 2010

En 2010, l'utilisation du sol dans le corridor de Tartaras se partage quasiment à part égale entre les espaces agricoles (43%) et les espaces boisés auxquels nous pouvons rattacher la friche dans ce sens où elle constitue l'antichambre de la forêt (42%) (Figure 11 et Tableau 5). Le bilan des évolutions de l'utilisation du sol dans le corridor de Tartaras montre l'importance de la dynamique d'enfrichement (gain de 39 ha entre 1991 et 2010) à partir des espaces agricoles, qui témoignent d'une déprise agricole importante (perte de 79 ha entre 1991 et 2010) dans les secteurs de fortes pentes (Figure 12 et Tableau 6). Les espaces urbanisés ont progressés de 19 ha entre 1991 et 2010, avec pour principale origine les espaces agricoles (Figure 13)



	1991		2010	
Utilisation du sol	Superficie (ha)	En rapport à la surface totale	Superficie (ha)	En rapport à la surface totale
Espace urbanisé	86	8%	107	10%
Espace urbanisé libre	3	0%	0	0%
Espace agricole	529	50%	450	43%
Verger	8	1%	8	1%
Espace boisé	302	29%	323	31%
Friche	74	7%	113	11%
Eau	15	1%	16	1%
Infrastructure	34	3%	34	3%
	1 051	100%	1 051	100%

Tableau 5 : Importance surfacique des différents types d'utilisation du sol dans le corridor de Tartaras en 1991 et 2010

## 1991-2010 changements

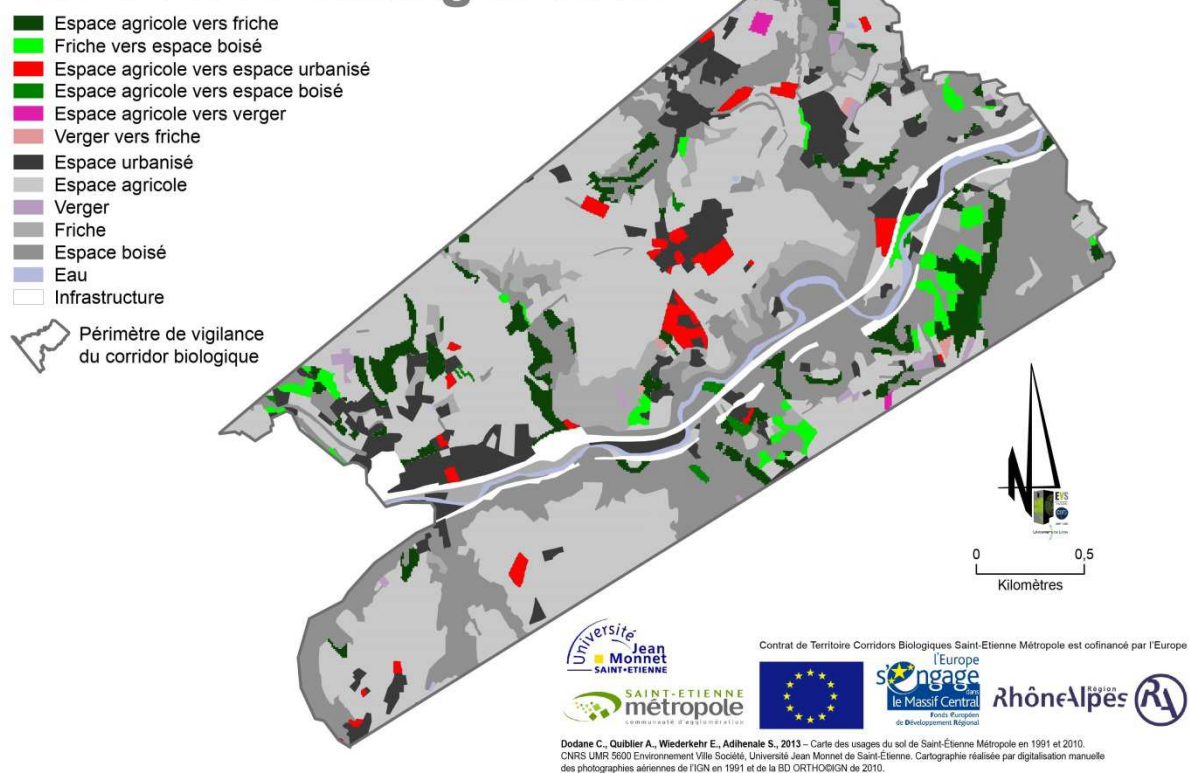


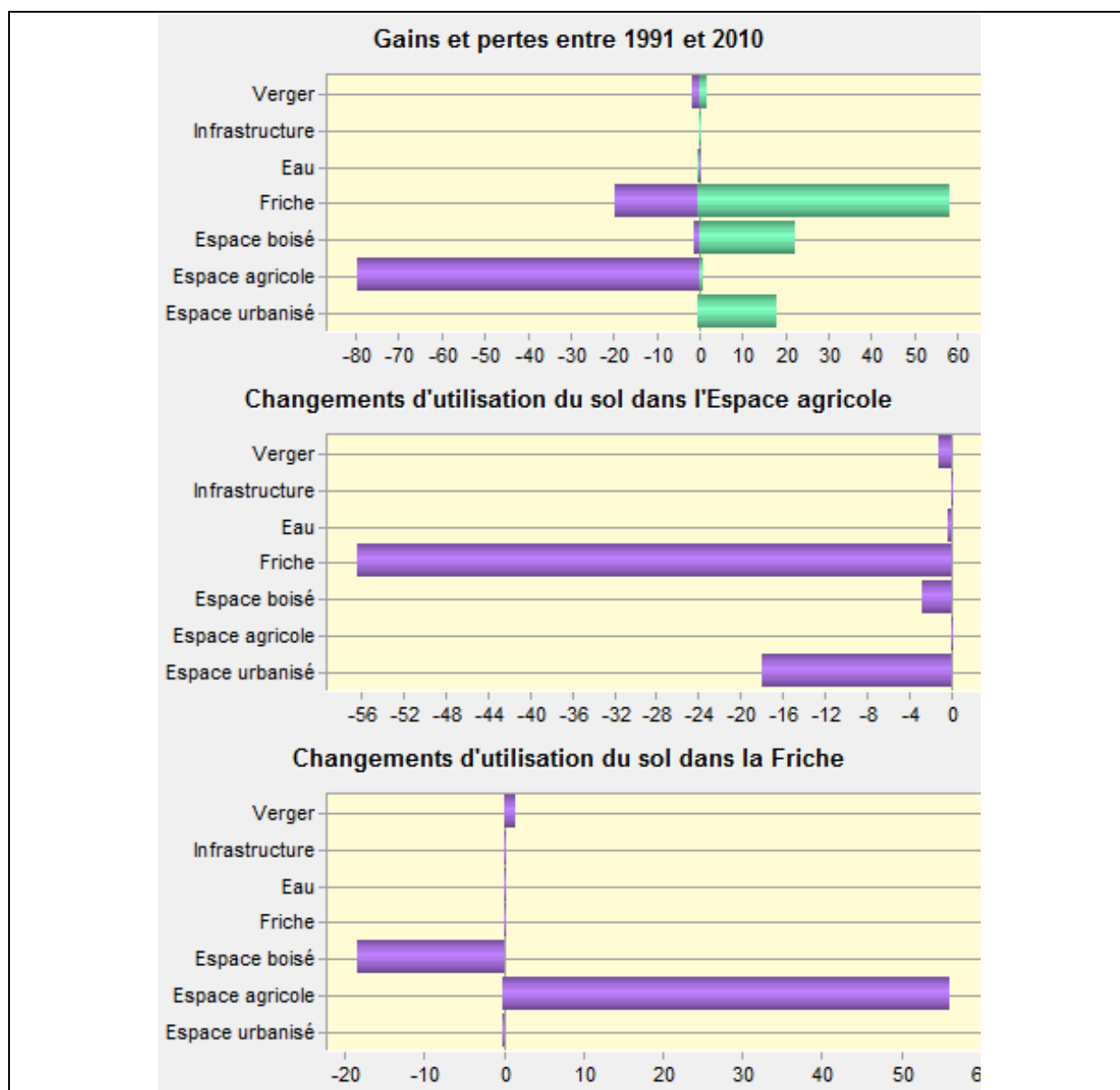
Figure 12 : Changements d'utilisation du sol dans le corridor de Tartaras entre 1991 et 2010 (pour les transitions de plus d'1 ha)

Transitions	Superficie (ha)
Espace agricole vers Friche	56,5
Friche vers Espace boisé	19,2
Espace agricole vers Espace urbanisé	18,0
Espace agricole vers Espace boisé	3,2
Espace agricole vers Verger	1,5
Verger vers Friche	1,4

Tableau 6 : Superficie des changements d'utilisation du sol dans le corridor de Tartaras entre 1991 et 2010

Dans le périmètre de vigilance du corridor biologique de Tartaras, le bilan des pertes et des gains entre les types d'utilisation du sol sur la période 1991-2010 (Figure 13) montre que :

- Les espaces agricoles ont perdu 80 ha et gagné 1 ha (solde net = - 79 ha).
- Les vergers ont perdu 2 ha et gagné 2 ha (solde net = 0 ha).
- Les espaces boisés ont perdu 1 ha et gagné 22 ha (solde net = + 21 ha).
- Les friches ont perdu 20 ha et gagné 59 ha (solde net = + 39 ha).
- Les espaces urbanisés ont gagné 19 ha (solde net = + 19 ha).
- Les surfaces en eau et les infrastructures sont restées les mêmes.



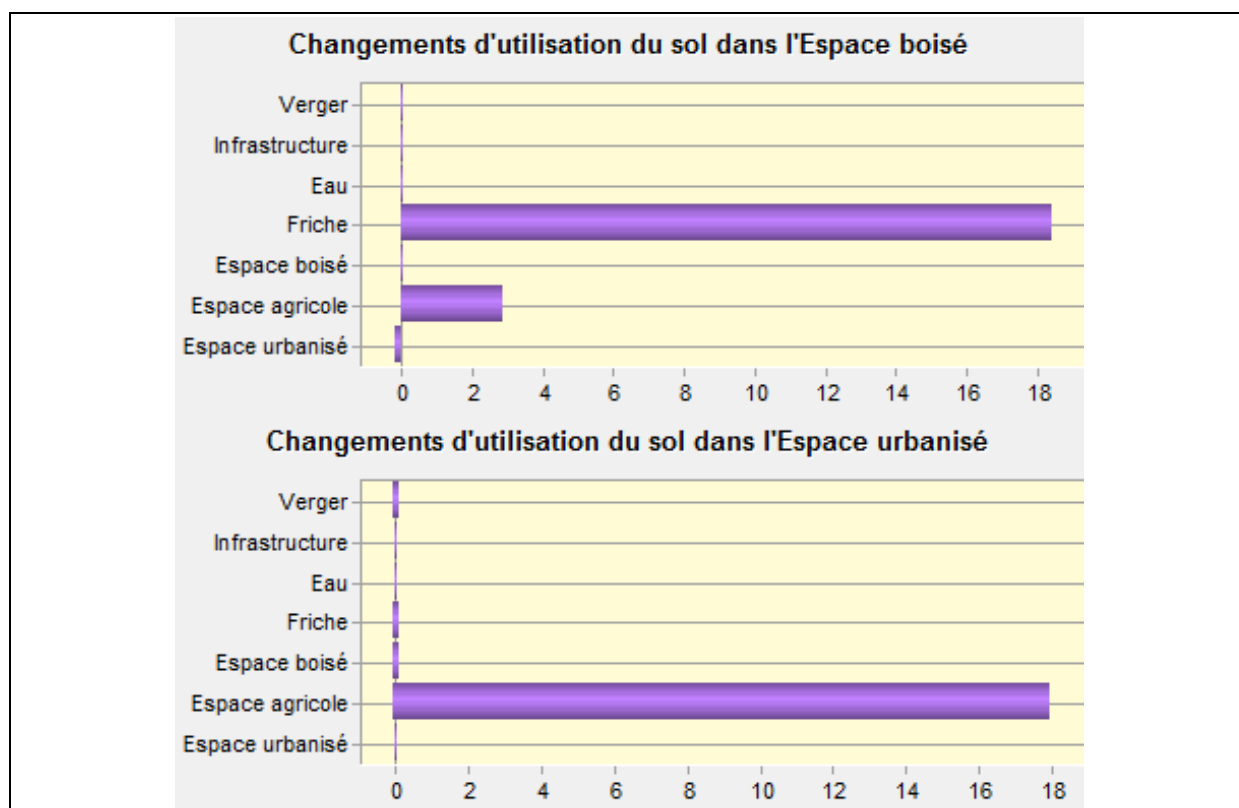


Figure 13 : Soldes bruts et nets des changements entre les différents types d'utilisation du sol dans le corridor biologique de Tartaras entre 1991 et 2010 (en ha)

### 1.2.c Le corridor de La Fouillouse

La superficie du périmètre de vigilance du corridor de Saint-Jean-Bonnefonds est de 522 ha. Une zone tampon de 500 m autour du périmètre de vigilance a été appliquée ; elle porte la superficie de la cartographie de l'utilisation du sol à 1231 ha (non représentée sur les cartographies suivantes).

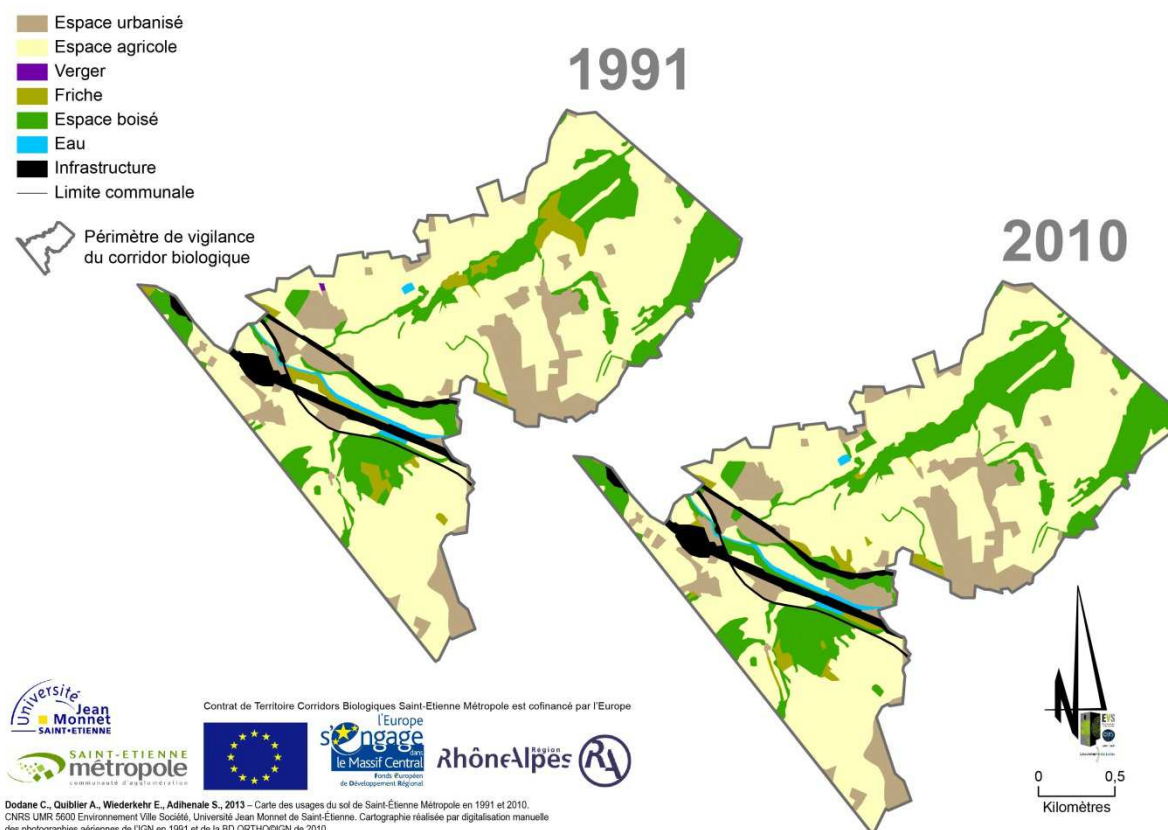


Figure 14 : Utilisation du sol dans le corridor de La Fouillouse en 1991 et 2010


En 2010, l'utilisation du sol dans le corridor de La Fouillouse est avant tout agricole et forestière (respectivement 60% et 20%) (Figure 14 et Tableau 5). La part des espaces urbanisés est la deuxième plus importante, avec 14%, après celle du corridor d'Unieux (18%). Le bilan des évolutions de l'utilisation du sol dans le corridor de La Fouillouse montre une stabilité relative des dynamiques d'évolution de l'utilisation du sol (Figure 15 et Tableau 8). La transition la plus importante, en termes de surface, est le passage de friche à l'état boisé, notamment une grande parcelle en bordure du Pinchigneux (Figure 16). Les espaces boisés gagnent 17 ha entre 1991 et 2010.

Utilisation du sol	1991		2010	
	Superficie (ha)	En rapport à la surface totale	Superficie (ha)	En rapport à la surface totale
Espace urbanisé	64	12%	73	14%
Espace urbanisé libre	1	0%	1	0%
Espace agricole	327	63%	312	60%
Espace boisé	88	17%	103	20%
Friche	17	3%	8	2%
Eau	4	1%	4	1%
Infrastructure	21	4%	21	4%
	522	100%	522	100%

**Tableau 7 : Importance surfacique des différents types d'utilisation du sol dans le corridor de La Fouillouse en 1991 et 2010**

## 1991-2010 changements

- Friche vers espace boisé
- Espace agricole vers espace urbanisé
- Espace agricole vers friche
- Espace agricole vers espace boisé
- Espace boisé vers espaces urbanisé
- Espace urbanisé
- Espace agricole
- Friche
- Espace boisé
- Eau
- Infrastructure

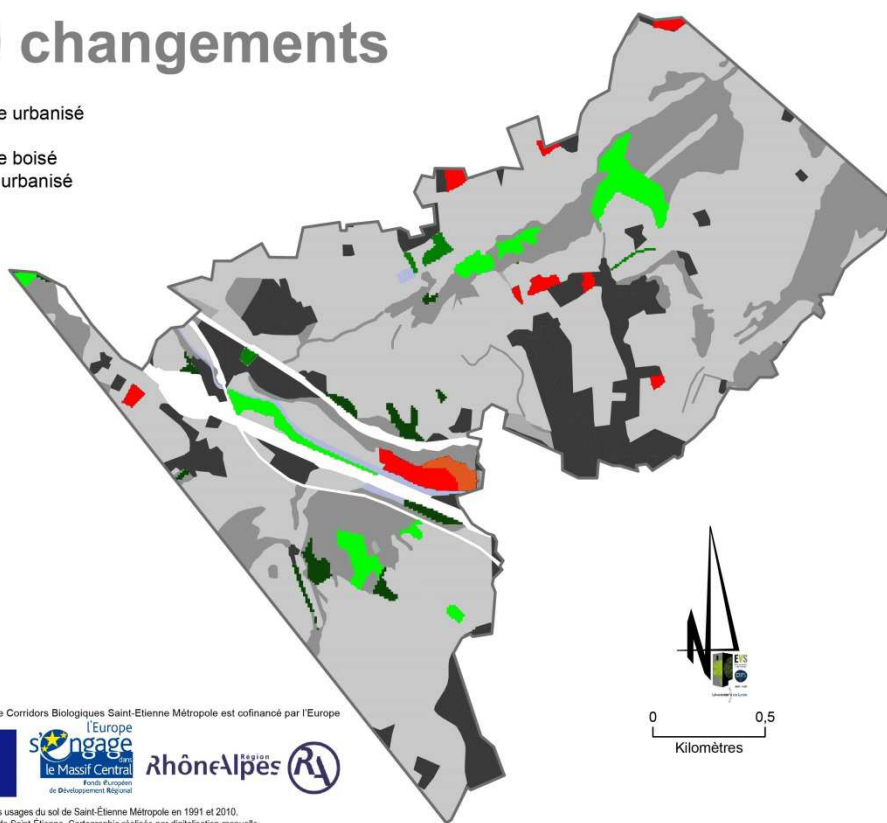
 Périmètre de vigilance du corridor biologique



Contrat de Territoire Corridors Biologiques Saint-Etienne Métropole est cofinancé par l'Europe



Dodane C., Quiblier A., Wiederkehr E., Adihene S., 2013 – Carte des usages du sol de Saint-Etienne Métropole en 1991 et 2010. CNRS UMR 5600 Environnement Ville Société, Université Jean Monnet de Saint-Etienne. Cartographie réalisée par digitalisation manuelle des photographies aériennes de l'IGN en 1991 et de la BD ORTHOIGN de 2010.



**Figure 15 : Changements d'utilisation du sol dans le corridor de La Fouillouse entre 1991 et 2010 (pour les transitions de plus d'1 ha)**

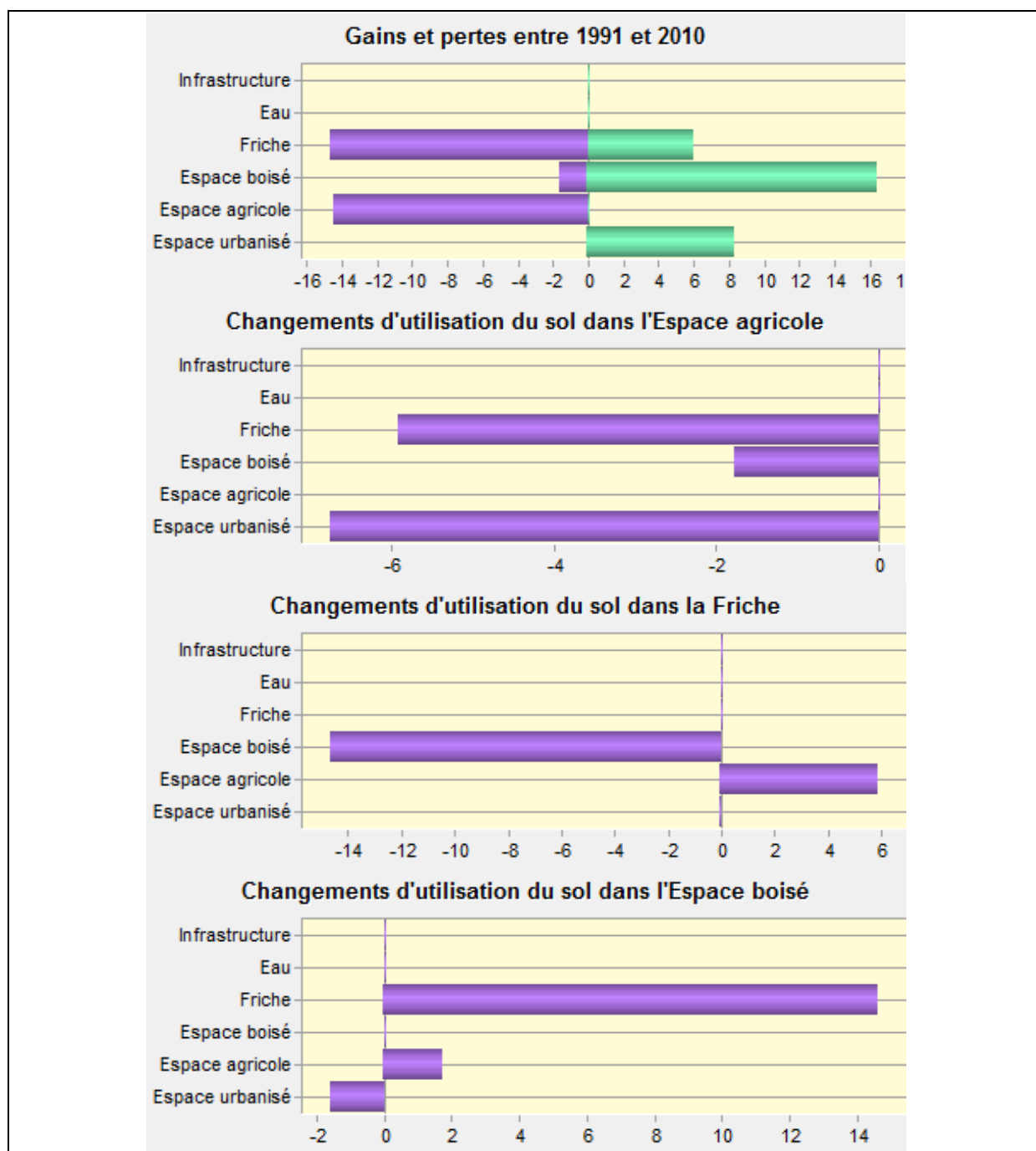
Transitions	Superficie (ha)
Friche vers Espace boisé	14,7
Espace agricole vers Espace urbanisé	6,8
Espace agricole vers Friche	5,9
Espace agricole vers Espace boisé	1,8
Espace boisé vers Espace urbanisé	1,7

**Tableau 8 : Superficie des changements d'utilisation du sol dans le corridor de La Fouillouse entre 1991 et 2010**



Dans le périmètre de vigilance du corridor biologique de La Fouillouse, le bilan des pertes et des gains entre les types d'utilisation du sol sur la période 1991-2010 (Figure 16) montre que :

- Les espaces agricoles ont perdu 14 ha (solde net = - 14 ha).
- Les espaces boisés ont perdu 2 ha et gagné 17 ha (solde net = + 15 ha).
- Les friches ont perdu 15 ha et gagné 6 ha (solde net = + 9 ha).
- Les espaces urbanisés ont gagné 8 ha (solde net = + 8 ha).
- Les surfaces en eau et les infrastructures sont restées les mêmes.



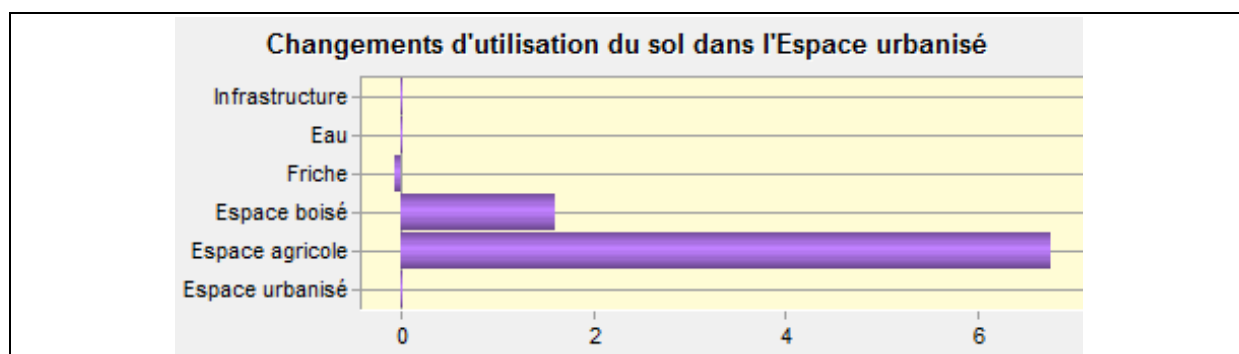


Figure 16 : Soldes bruts et nets des changements entre les différents types d'utilisation du sol dans le corridor biologique de La Fouillouse entre 1991 et 2010 (en ha)

### 1.2.d Le corridor d'Unieux

La superficie du périmètre de vigilance du corridor de Saint-Jean-Bonnefonds est de 516 ha. Une zone tampon de 500 m autour du périmètre de vigilance a été appliquée ; elle porte la superficie de la cartographie de l'utilisation du sol à 1253 ha (non représentée sur les cartographies suivantes).

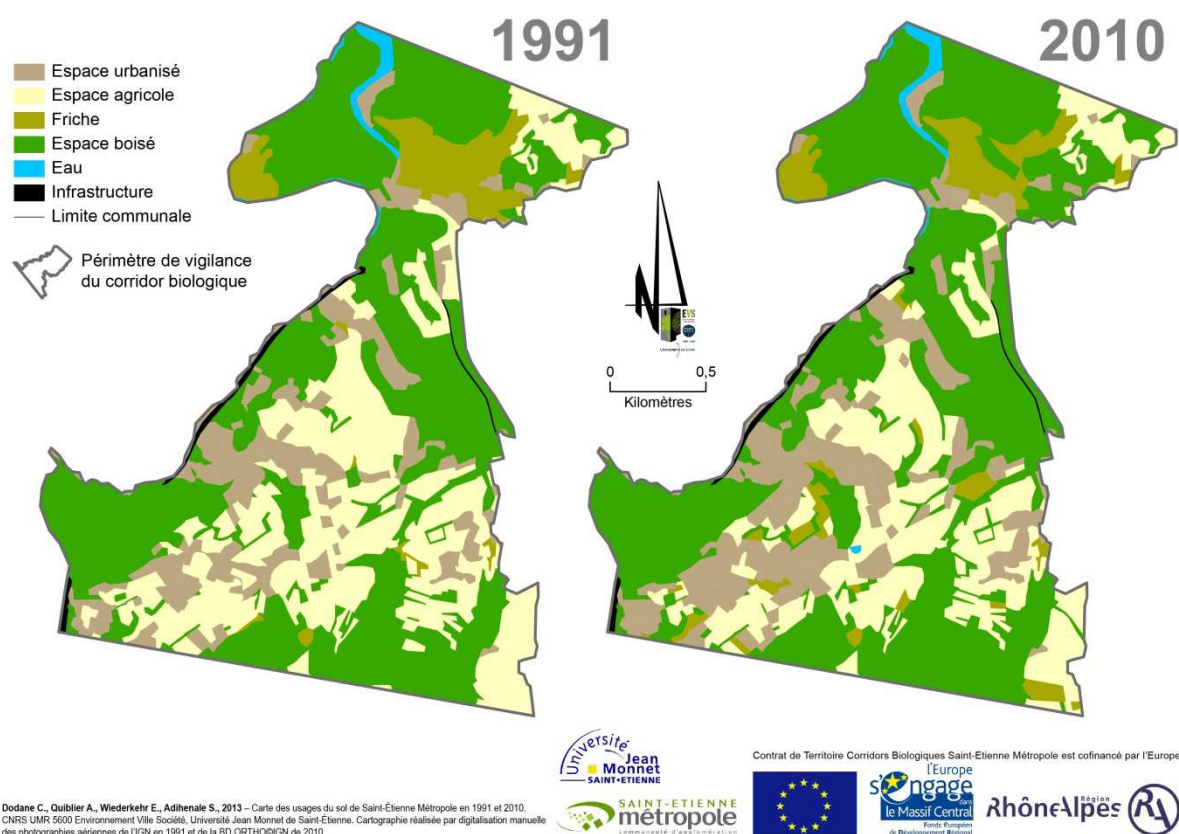


Figure 17 : Utilisation du sol dans le corridor d'Unieux en 1991 et 2010

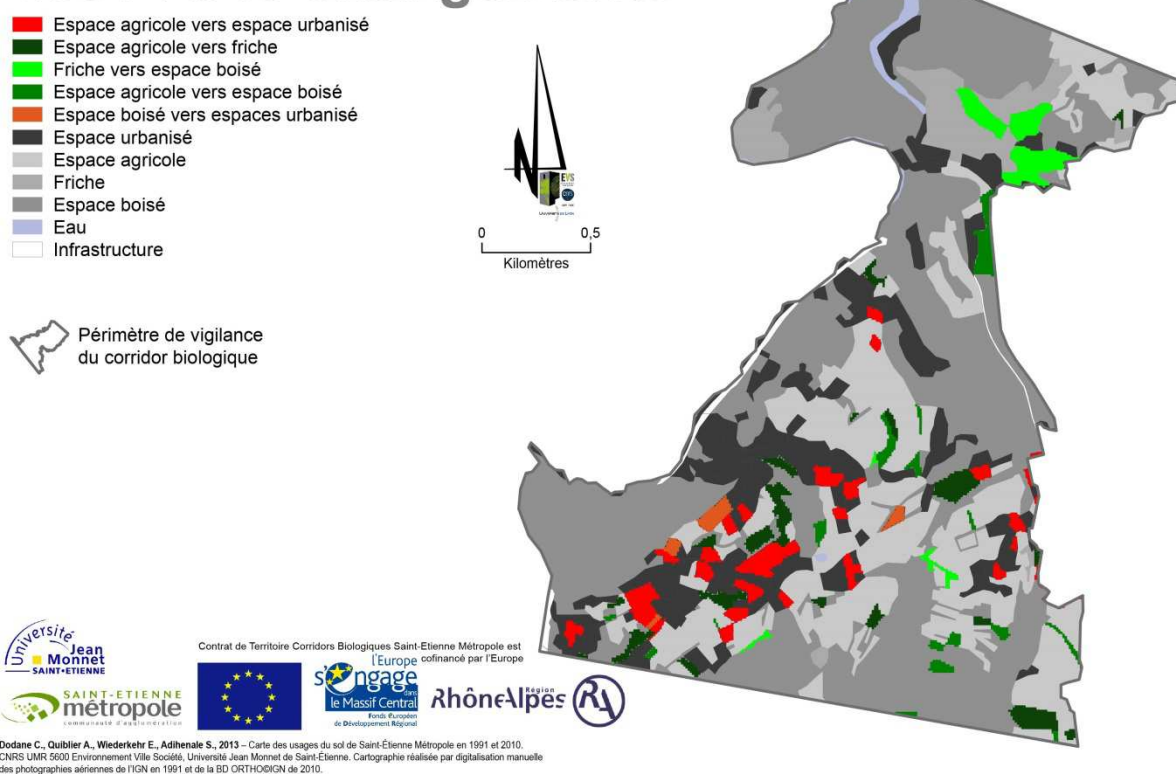
En 2010, l'utilisation du sol dans le corridor d'Unieux est avant tout agricole et forestière (respectivement 50% et 23%) (Figure 17 et Tableau 9). La part des espaces urbanisés est la plus importante de tous les corridors avec 18%. Le bilan des évolutions de l'utilisation du sol dans le corridor de La Fouillouse montre une stabilité relative des dynamiques d'évolution de

l'utilisation du sol, hormis pour les espaces urbanisés qui représentent la transition la plus importante en termes de surface, avec un solde de 17 ha (Figure 19), et les espaces agricoles à la défaveur des espaces urbanisés et de la friche principalement et dans une moindre mesure des espaces boisés (Figure 18 et Tableau 10).

Utilisation du sol	1991		2010	
	Superficie (ha)	En rapport à la surface totale	Superficie (ha)	En rapport à la surface totale
Espace urbanisé	76	15%	93	18%
Espace agricole	152	29%	117	23%
Espace boisé	247	48%	260	50%
Friche	31	6%	35	7%
Eau	6	1%	6	1%
Infrastructure	4	1%	4	1%
	516	100%	516	100%

**Tableau 9 : Importance surfacique des différents types d'utilisation du sol dans le corridor d'Unieux en 1991 et 2010**

## 1991-2010 changements



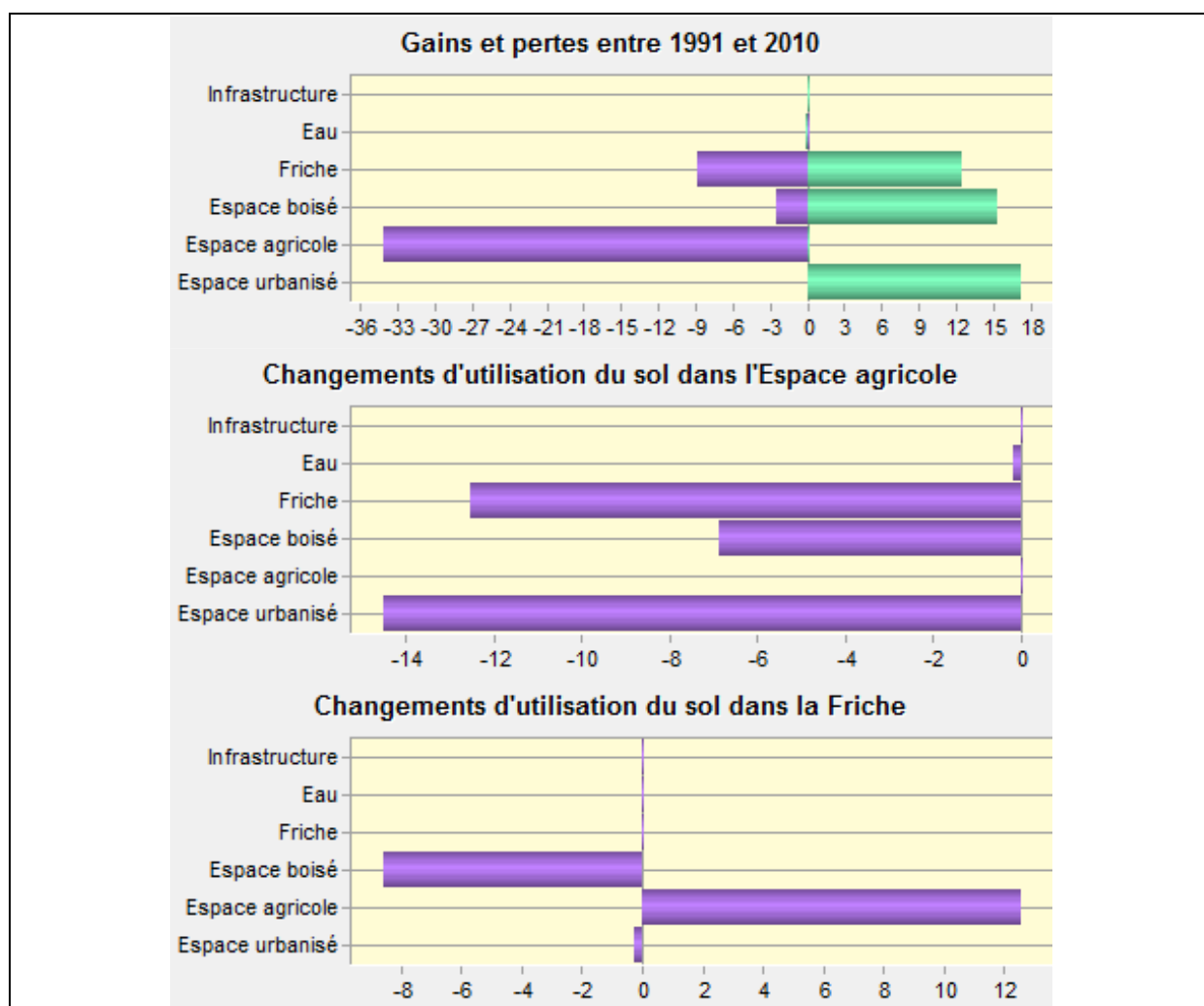
**Figure 18 : Changements d'utilisation du sol dans le corridor d'Unieux entre 1991 et 2010 (pour les transitions de plus d'1 ha)**

Transitions	Superficie (ha)
Espace agricole vers Espace urbanisé	14,5
Espace agricole vers Friche	12,6
Friche vers Espace boisé	8,6
Espace agricole vers Espace boisé	6,9
Espace boisé vers Espace urbanisé	2,5

**Tableau 10 : Superficie des changements d'utilisation du sol dans le corridor d'Unieux entre 1991 et 2010**

Dans le périmètre de vigilance du corridor biologique d'Unieux, le bilan des pertes et des gains entre les types d'utilisation du sol sur la période 1991-2010 (Figure 19) montre que :

- Les espaces agricoles ont perdu 34 ha (solde net = - 34 ha).
- Les espaces boisés ont perdu 2 ha et gagné 15 ha (solde net = + 13 ha).
- Les friches ont perdu 9 ha et gagné 13 ha (solde net = + 4 ha).
- Les espaces urbanisés ont gagné 17 ha (solde net = + 17 ha).
- Les surfaces en eau et les infrastructures sont restées les mêmes.



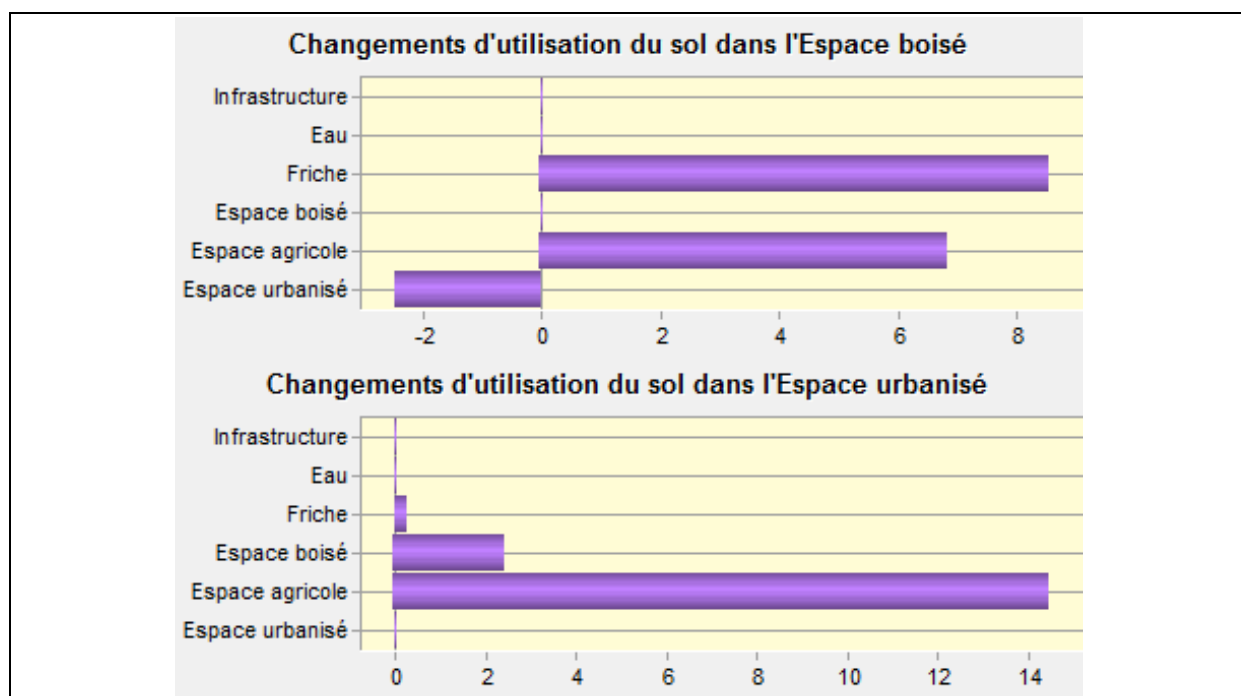


Figure 19 : Soldes bruts et nets des changements entre les différents types d'utilisation du sol dans le corridor biologique d'Unieux entre 1991 et 2010 (en ha)



## II. Analyse de la connectivité et de la fragmentation des espaces boisés des corridors

Il nous a paru intéressant de nous intéresser à la structure et à l'organisation des différents corridors. Pour se faire, nous avons mené une réflexion sur la méthode à utiliser pour réaliser une telle évaluation. Ainsi, plusieurs types d'analyses ont été testés afin de sélectionner la plus pertinente. Compte tenu de la nature même de la donnée produite (échelle (étendu, tailles et finesse des objets), nombre de classes), toutes ne peuvent pas être envisagées. Par exemple, l'utilisation en mode raster d'indices bruts issus de l'analyse morphologique (*pattern analysis*) (diversité, richesse relative, dominance...) n'apparaît pas comme étant pertinente, car nos zones restent de taille modeste et présente de grandes zones plutôt homogènes. Pour bien faire, il eut fallu dégrader l'information par l'utilisation d'une faible résolution (pixels de grandes tailles) et augmenter la taille de la fenêtre de calcul, réduisant ainsi l'intérêt des résultats qui en auraient découlés. De même, le calcul d'indices de forme de polygones en mode vecteur n'a pas été concluant.

De ce fait, nous avons opté pour une autre méthode visant à estimer la fragmentation paysagère des périmètres de vigilance des corridors, incluant une zone tampon de 500 m autour, aux deux dates par la combinaison d'indices de densité et de connectivité. L'utilisation de cette zone tampon, vise à nous affranchir de tout effet de bord, les espaces situés à l'extérieur du périmètre de vigilance participant à la diversité et à la connectivité des espaces se trouvant à l'intérieur, dans l'emprise de la fenêtre de calcul.

Notre attention s'est portée plus précisément sur l'étude de la fragmentation de l'espace boisé. Il est important de préciser qu'il s'agit d'une démarche expérimentale.

### II.1 Méthode et outil

#### II.1.a Principes d'évaluation de la fragmentation

Nous avons utilisé une méthode développée dans une publication scientifique dont l'objectif était d'étudier la fragmentation forestière à échelle globale (Riitters et al., 2000, 2002). Cette méthode est implémentée dans le logiciel SAGA, plus précisément dans le module **Fragmentation (Standard)** développé par Olaf Conrad de l'université de Hambourg (Phua et al., 2008). Malgré la différence d'échelle de l'étude initiale (mondiale, maille à 1km), les premiers résultats nous ont paru intéressants et nous avons cherché à voir si la méthode pouvait s'adapter à notre problématique, comme cela a déjà été fait dans une autre publication (Phua et al., 2008).

Le principe consiste en l'application de 2 indices sur l'utilisation du sol du terrain d'étude : la **densité** et la **connectivité**, exprimées en %, sont calculées par utilisation d'une fenêtre de calcul, puis combinées afin d'obtenir une carte de l'état de **fragmentation** des milieux.

La **densité** ( $p_f$  dans la publication originale) est définie par la proportion de pixels « boisés » dans la fenêtre de calcul choisie (déterminer dans un rayon).

$$p_f = \frac{\text{nombre de pixels boisés}}{\text{nombre total de pixels}}$$

La **connectivité** ( $p_{ff}$ ) est traduit comme la proportion, parmi les paires de pixels adjacents (par un côté voire optionnellement par un angle) incluant au moins un pixel « boisé », dont les deux pixels sont « boisés ». Elle traduit de fait la probabilité que le voisin d'un pixel de classe « boisé », soit « boisé ».

$$p_{ff} = \frac{\text{nombre de paires de 2 pixels boisés}}{\text{nombre de paire avec au moins un pixel boisé}}$$

La Figure 20 (Phua et al., 2008) montre un exemple de calcul de cet indice de connectivité : le schéma 1 montre le nombre total de paires, le 2 présente 4 paires identiques et le 3, les 18 paires comprenant au moins un pixel boisé. Dans cet exemple, la fenêtre possède une connectivité de 22%.

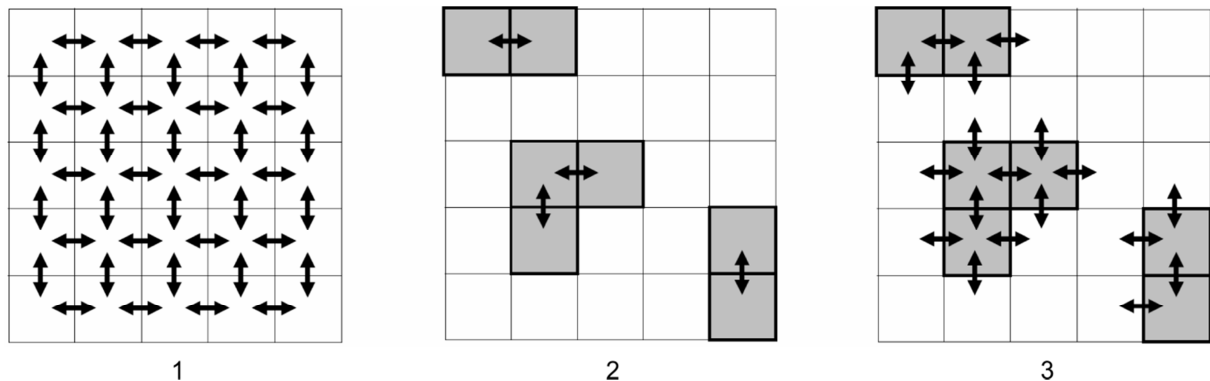


Figure 20 : Calcul de la connectivité avec une fenêtre de 5 pixels par 5 (d'après Phua et al., 2008)

La fragmentation correspond donc à la prise en compte simultanée des deux indices précédents, reclassés selon les règles suivantes (Figure 21) :

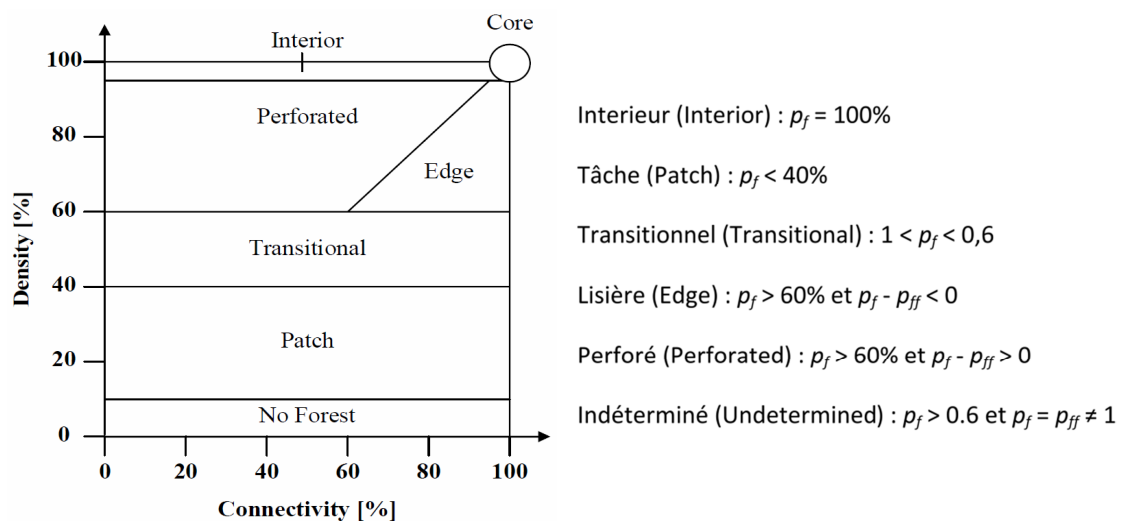


Figure 21 : Mode d'estimation du taux de fragmentation (Phua et al., 2008) d'après Rittes et al. (2000)

Quand la connectivité est plus forte que la densité, cela veut dire que l'espace boisé est agglomérée et que la probabilité qu'un voisin immédiat soit de type boisé est supérieure à la probabilité moyenne de présence de cette classe. Par contre, si la connectivité est plus faible que la densité, ce sont les autres classes qui se retrouvent agglomérées. La différence entre la densité et la connectivité ( $p_f - p_{ff}$ ) caractérise un gradient allant de l'agglomération des pixels boisés (Lisière/Edge) à l'agglomération des pixels d'autres classes (Perforé/Perforated). Lorsque la densité est égale à la connectivité, alors le modèle ne peut pas distinguer le type d'agglomération, boisé ou non-boisé (Indéterminé/Undetermined). Enfin, lorsque la

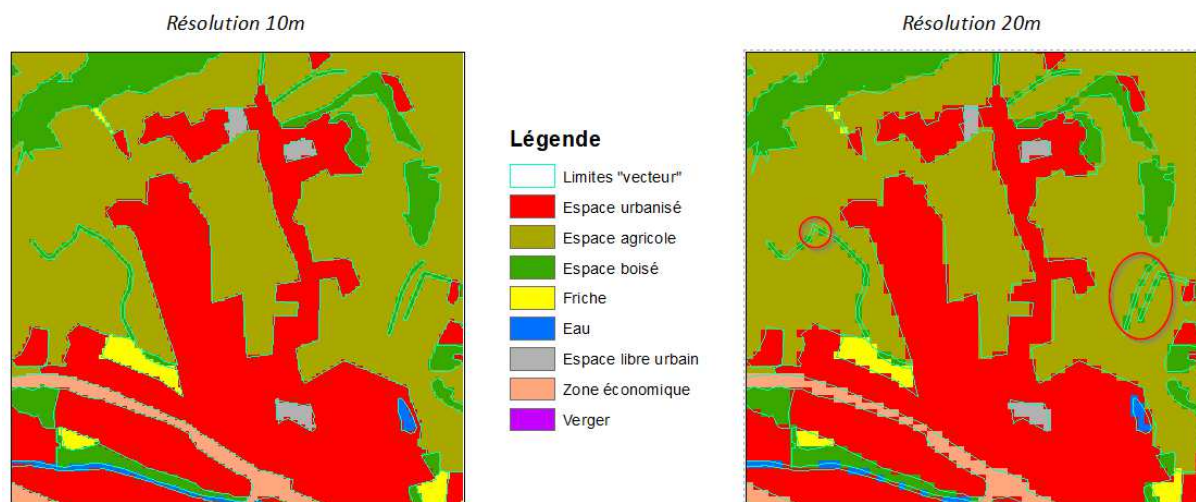
connectivité est égale à 1, la fenêtre est entièrement boisée. De fait, la connectivité est aussi égale à 1 (Intérieur/Interior).

Nous proposons ci-dessous des définitions plus concises des principales classes obtenus :

- Tâche : petit groupe de pixels boisés entourés par des pixels non boisés.
- Lisière : pixels boisés qui définissent la frontière entre les noyaux boisés et de larges espaces non boisés.
- Perforés : pixels boisés qui définissent la frontière entre les noyaux boisés et de relativement plus petits groupes (« perforations ») dans le paysage boisé.
- Intérieur (noyaux) : pixels boisés relativement loin de la limite boisé/non boisé.

### **II.1.b Outil : SAGA GIS 2.1.1 et son module Fragmentation (Standard)**

Étant donné que nous travaillons au format raster, le premier travail a été de déterminer la résolution (taille des pixels) à laquelle nous souhaitons travailler. En effet, plus la taille des pixels est importante, plus il existe une perte d'information. Deux critères principaux sont à prendre en compte : la conservation des éléments de petites tailles, le maintien des éléments linéaires (Figure 20). Divers tests ont permis de choisir une résolution de 10m (Figure 22).



**Figure 22 : Choix de la résolution des fichiers en mode raster**

Il est primordial de bien estimer cette résolution, puisqu'elle-même influencera le choix de la taille des fenêtres de calculs pixels permettant l'analyse de la fragmentation en tenant compte d'une plus ou moins grande tolérance quant à la proximité des éléments considérés. Le module permet d'ajuster un certain nombre de paramètres.

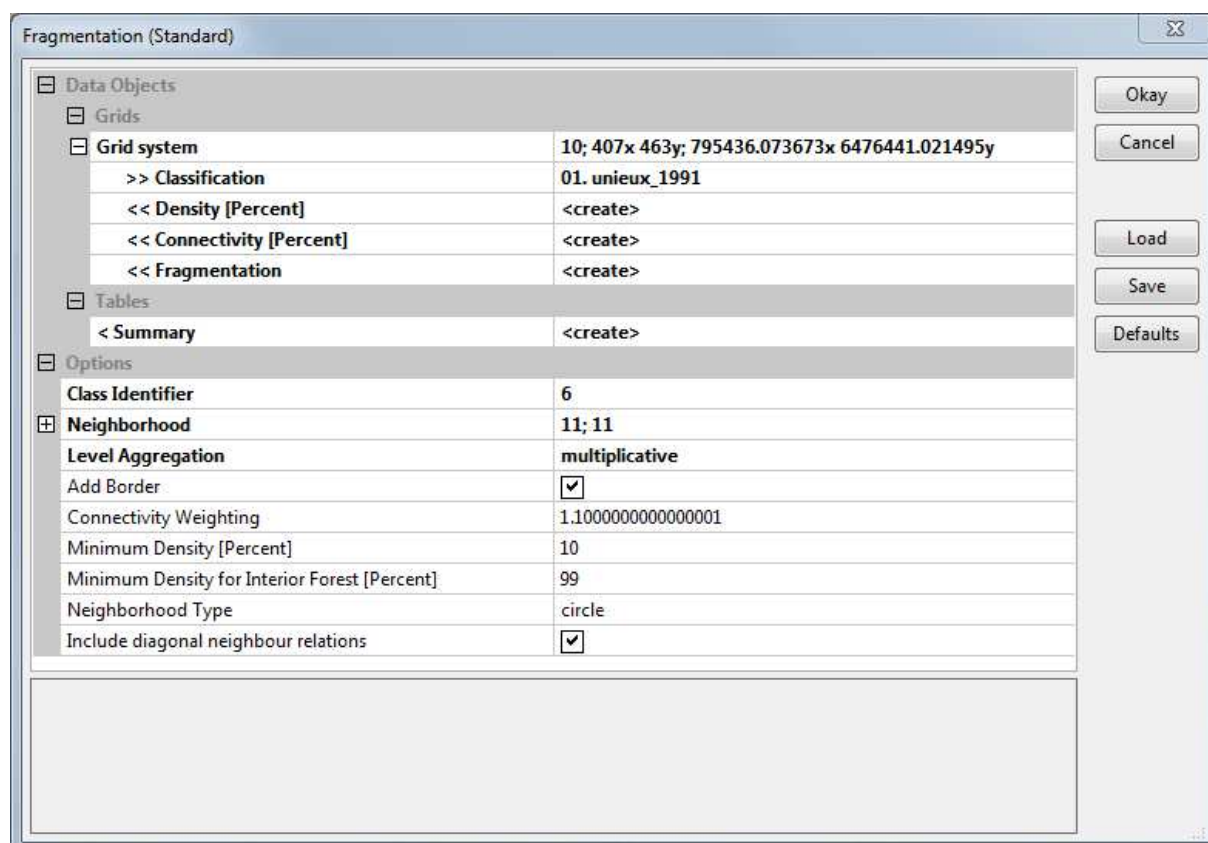


Figure 23 : Interface graphique du module Fragmentation (Standard) et paramètres utilisés

Le module permet de jouer sur un certain nombre d'options (Figure 23) donc la méthode d'agrégation, la pondération de la connectivité la densité minimum à pour qu'un pixel appartiennent à la classe « Intérieur »... mais surtout le type de voisinage et la taille de la fenêtre de calcul, où le fait de tenir compte de la connectivité par les angles de pixels (en diagonale).

Compte tenu de la taille des terrains d'étude et de la résolution choisie (10m), nous avons opté pour une fenêtre de calcul circulaire de taille 11 × 11 (soit une superficie légèrement supérieure à 1 hectare), en tenant compte de la connectivité en diagonale.

Les calculs ont été réalisés pour chaque terrain d'étude, aux deux dates auxquelles nous avons travaillé (1991 et 2010).

## II.2 Résultats

Les résultats obtenus nous paraissent intéressants à plusieurs titres. Si de prime abord, les cartographies de la connectivité et de la typologie de fragmentation des espaces boisés des corridors peuvent être perçues par les experts comme "évidente", il n'en reste pas moins que cette méthodologie permet de traiter la donnée d'utilisation du sol de manière "objective", qu'elle met en relief un certains nombres de constats (qui peuvent être confirmés ou infirmés par les experts), mais surtout qu'elle vient apporter une visualisation d'ensemble de la structure de fonctionnement du corridor. Selon nous, cette cartographie peut avoir un rôle heuristique dans le sens où elle permet une forme d'abstraction et donc de compréhension d'un modèle de fonctionnement. Les travaux de Sylvie Lardon (2005, 2007) montrent les apports de telles cartographies heuristiques (chorèmes) dans la construction de projet de territoire, notamment dans la phase amont de diagnostic de territoire, de conceptualisation du fonctionnement d'un système territoriale et de révélation

des enjeux. C'est pourquoi nous avons souhaité tester une représentation cartographique des enjeux de fonctionnalité du corridor de Saint-Jean-Bonnefonds, qui s'inspire des travaux conduits sur la connectivité et la fragmentation des espaces boisés (voir Figure 28).

## II.2.a Le corridor de Saint-Jean-Bonnefonds

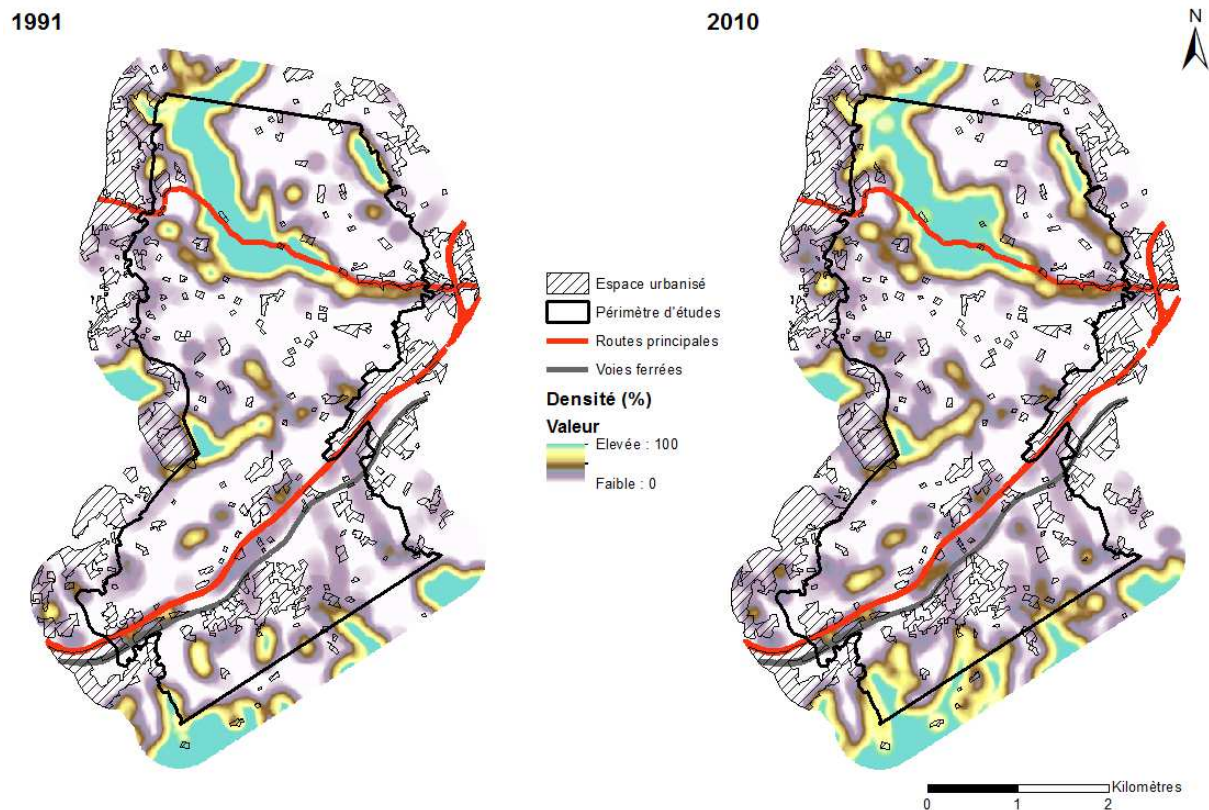


Figure 24 : Évolution de la densité des espaces boisés entre 1991 et 2010 (corridor de Saint-Jean-Bonnefonds)



1991

2010

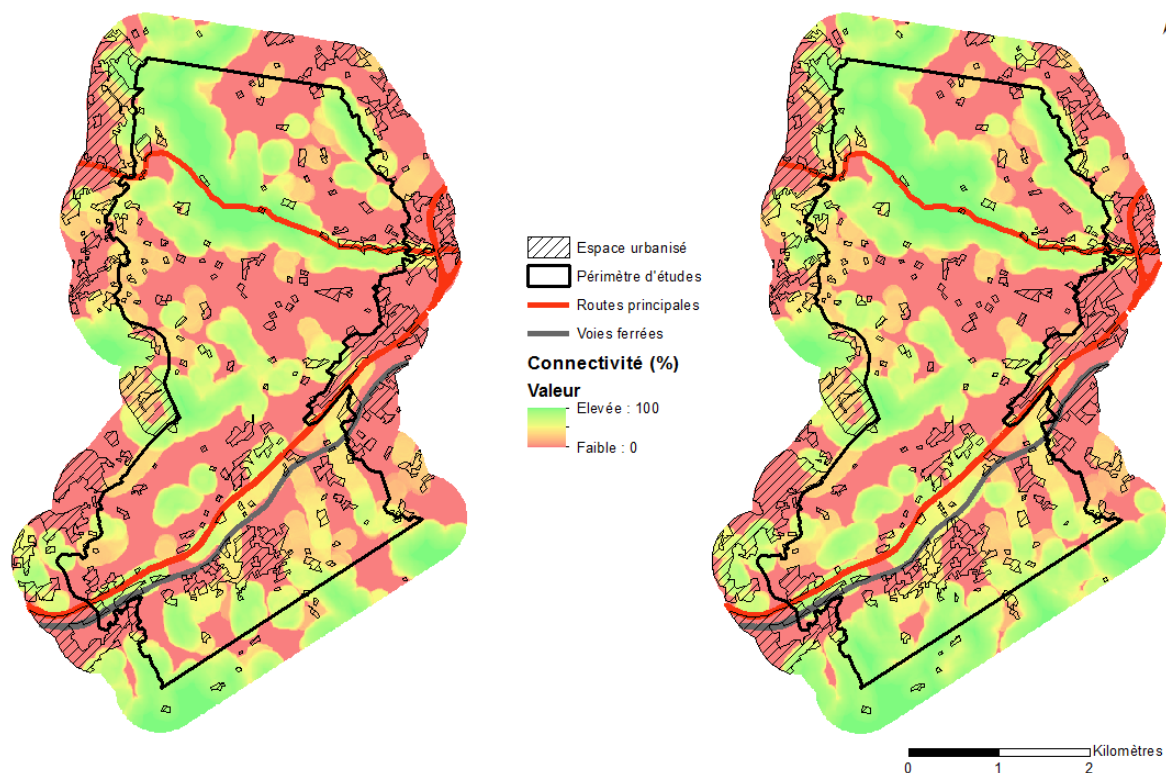


Figure 25 : Évolution de la connectivité des espaces boisés entre 1991 et 2010 (corridor de Saint-Jean-Bonnefonds)

1991

2010

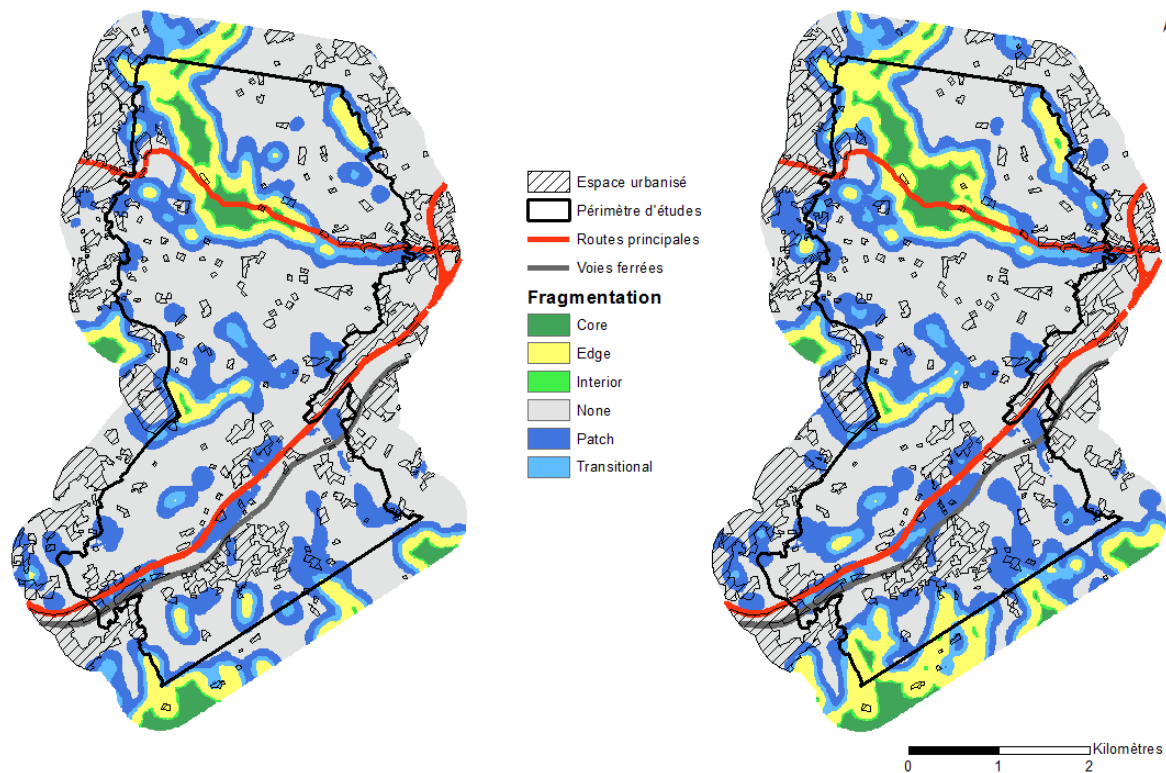
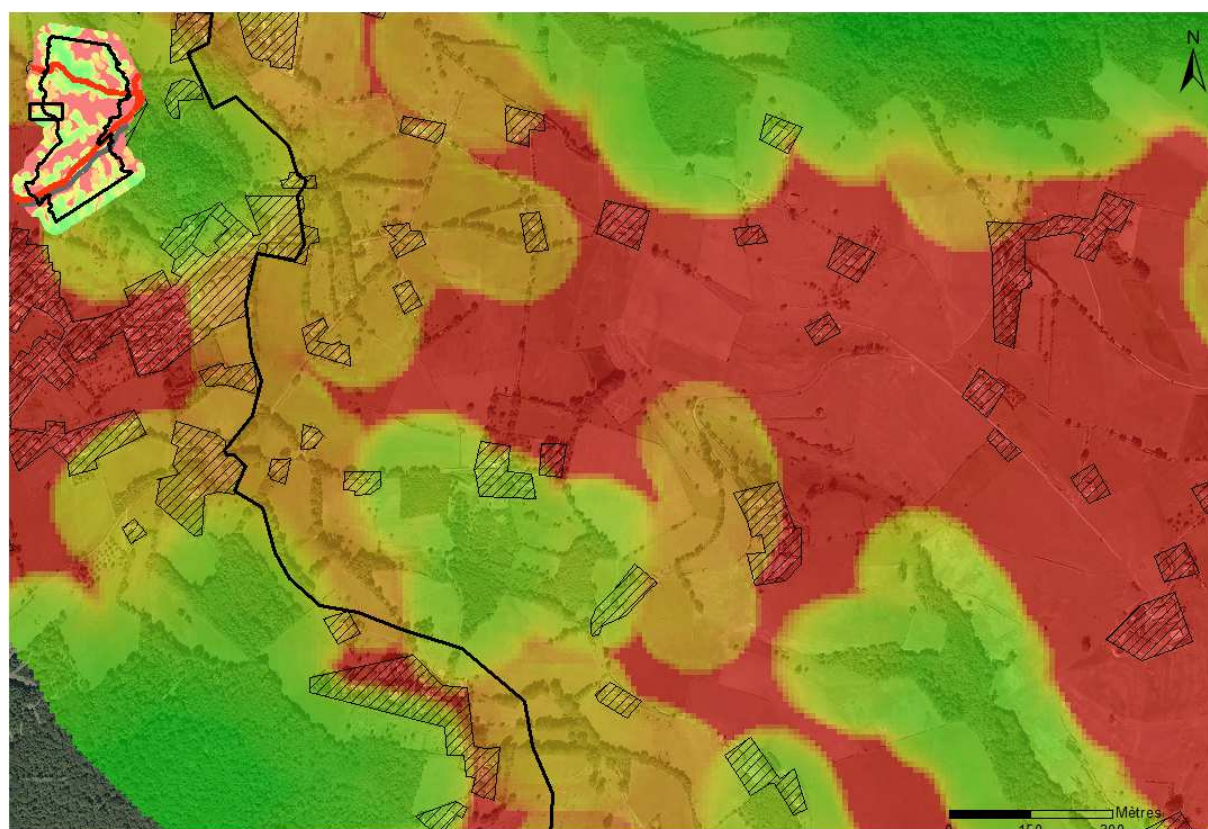


Figure 26 : Évolution des classes de fragmentation des espaces boisés entre 1991 et 2010 (corridor de Saint-Jean-Bonnefonds)

	1991		2010	
Classe de fragmentation	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
Cœur / Core	63	<b>2,3</b>	84	<b>3,0</b>
Intérieur / Interior	25	<b>0,9</b>	35	<b>1,3</b>
Indéterminé / Undetermined	-	-	-	-
Perforé / Perforated	-	-	-	-
Lisière / Edge	197	<b>7,1</b>	281	<b>10,1</b>
Transitionnel / Transitional	149	<b>5,4</b>	198	<b>7,1</b>
Tâche / Patch	530	<b>19,1</b>	624	<b>22,5</b>
Autre / None	1 811	<b>65,3</b>	1 554	<b>56,0</b>
Total	2 775	<b>100,0</b>	2 775	<b>100,0</b>

**Tableau 11 : Évolution de la superficie des classes de fragmentation des espaces boisés entre 1991 et 2010 (corridor de Saint-Jean-Bonnefonds)**



**Figure 27 : Connectivité des espaces boisés du corridor de Saint-Jean-Bonnefonds en 2010 (zoom sur une zone à enjeux)**

La connectivité des espaces boisés du corridor de Saint-Jean-Bonnefonds n'apparaît pas continue sur l'ensemble de l'axe (voir Figure 25), ce que montre la Figure 24 à travers la densité des espaces boisés. Outre le problème de franchissement des infrastructures autoroutières et ferroviaires sur le corridor de Saint-Jean-Bonnefonds, l'indicateur de connectivité laisse entrevoir un fonctionnement du corridor, dans sa partie nord, qui s'organise le long de la bordure est du périmètre (partie nord de la commune de Saint-Jean-Bonnefonds et sud-est de Sorbiers). Cela pose notamment la question de l'évolution de l'urbanisation dans le secteur qui pourrait impacter à terme la fonctionnalité du corridor.

L'enjeu de contenir le front urbain en limite du périmètre de vigilance dans ce secteur apparaît comme un véritable enjeu, comme de limiter dans une certaine mesure l'extension urbaine autour de l'habitat dispersé et des exploitations agricoles implantés de façon diffus dans l'espace (voir Figure 27). Un autre enjeu apparaît en observant la typologie de fragmentation des espaces boisés du corridor. Si les parties nord et sud du corridor semblent peu fragmentées (voir Figure 26), ce n'est pas le cas de la partie centrale où il existe seulement un petit noyau d'espace boisé, en bordure du parc technologique, connecté à la petite vallée du Ricolin, pouvant faire office d'espace relais dans la fonctionnalité globale du corridor. Toutefois, la connectivité de ces milieux boisés avec ceux de la vallée du Langonand au nord reste problématique comme évoqué précédemment.



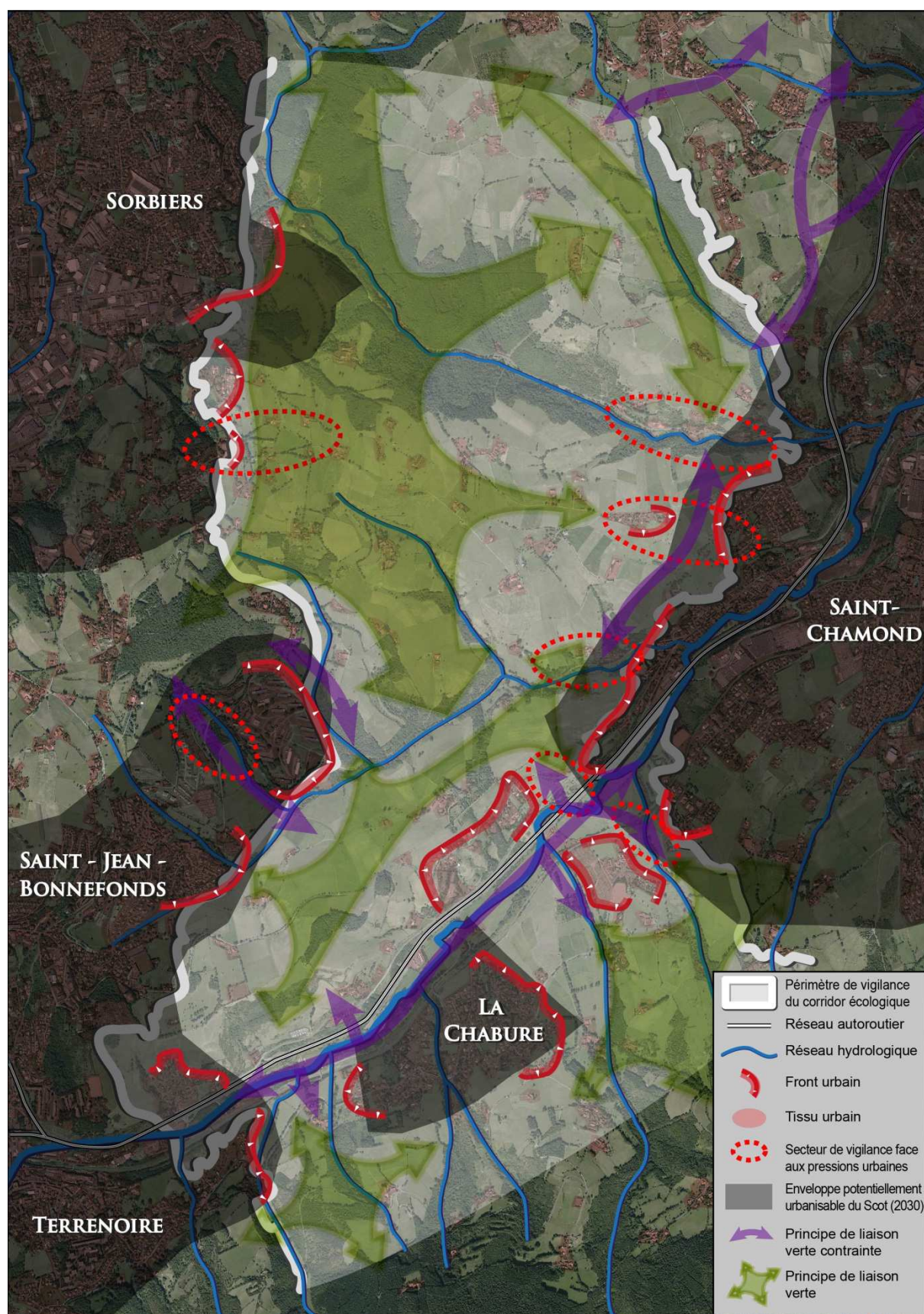


Figure 28 : Les enjeux liés à la fonctionnalité du corridor de Saint-Jean-Bonnefonds



## II.2.b Le corridor de Tartaras

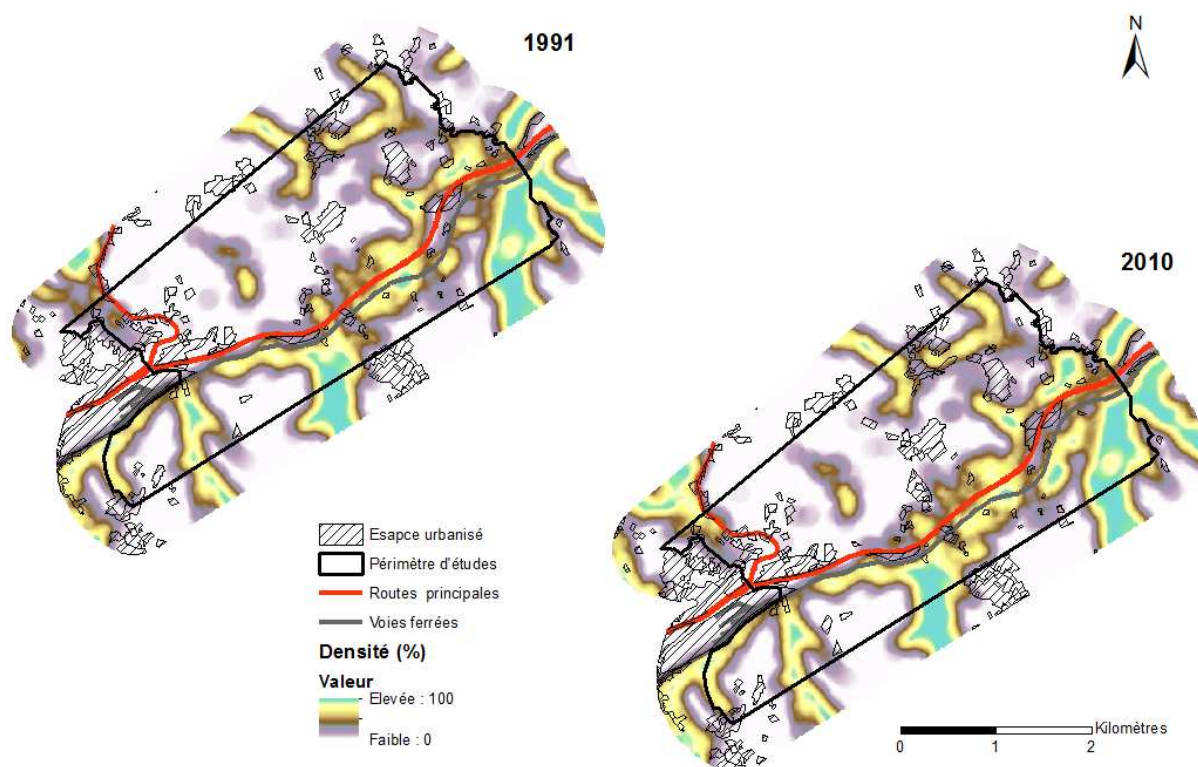


Figure 29 : Évolution de la densité des espaces boisés entre 1991 et 2010 (corridor de Tartaras)

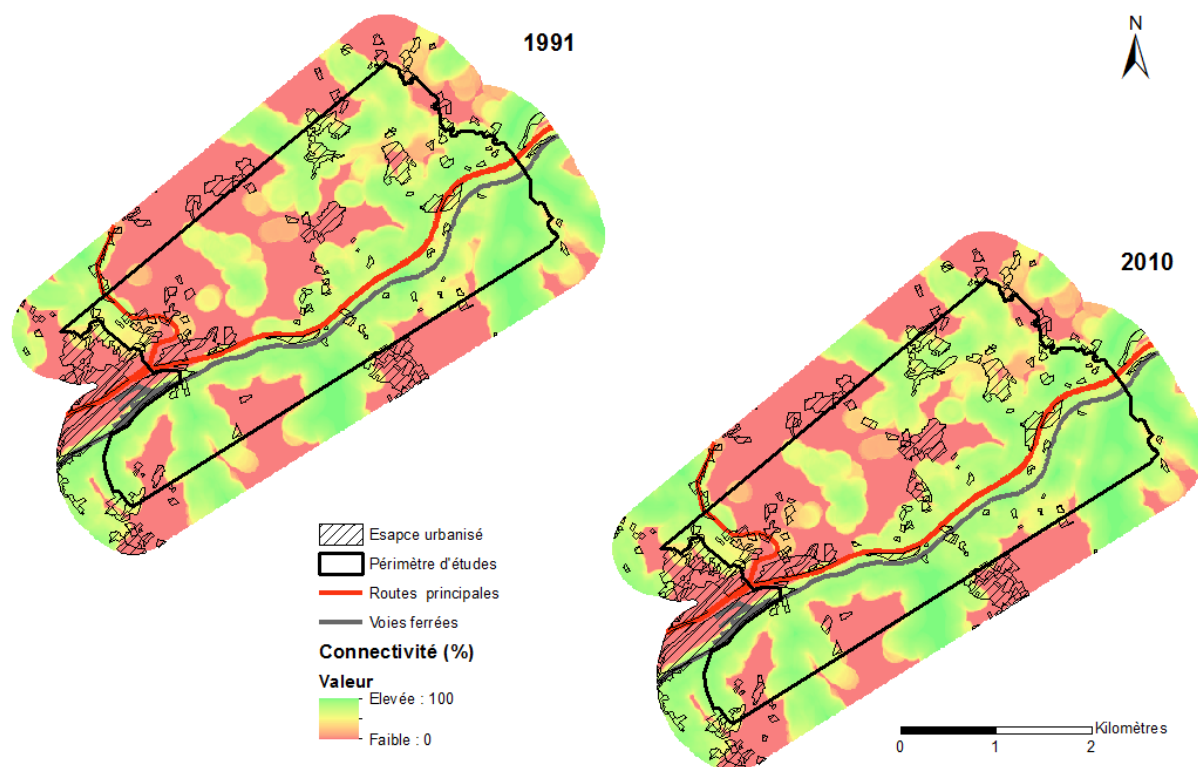


Figure 30 : Évolution de la connectivité des espaces boisés entre 1991 et 2010 (corridor de Tartaras)



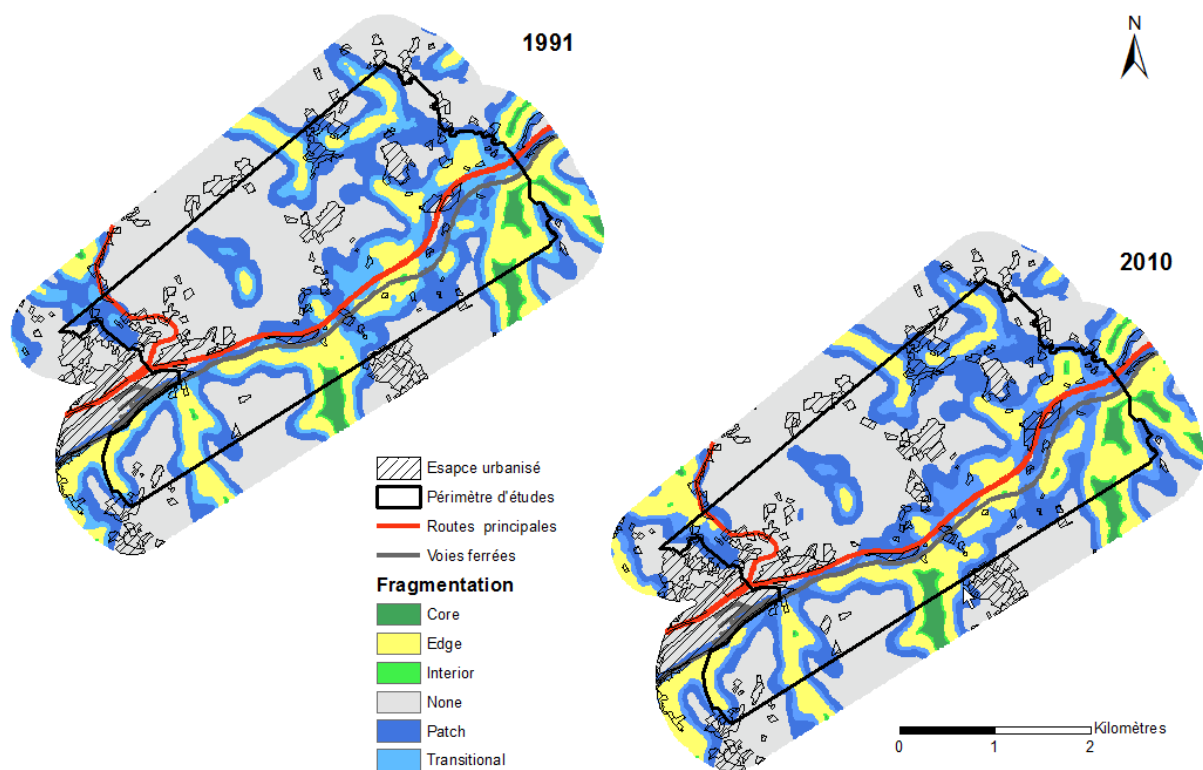


Figure 31 : Évolution des classes de fragmentation des espaces boisés entre 1991 et 2010 (corridor de Tartaras)

Classe de fragmentation	1991		2010	
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
Cœur / Core	32	<b>1,7</b>	36	<b>1,9</b>
Intérieur / Interior	18	<b>1,0</b>	21	<b>1,1</b>
Indéterminé / Undetermined	-	-	-	-
Perforé / Perforated	-	-	-	-
Lisière / Edge	277	<b>14,6</b>	327	<b>17,2</b>
Transitionnel / Transitional	231	<b>12,2</b>	239	<b>12,6</b>
Tâche / Patch	417	<b>22,0</b>	397	<b>20,9</b>
Autre / None	922	<b>48,6</b>	879	<b>46,3</b>
Total	1 897	<b>100,0</b>	1 897	<b>100,0</b>

Tableau 12 : Évolution de la superficie des classes de fragmentation des espaces boisés entre 1991 et 2010 (corridor de Tartaras)

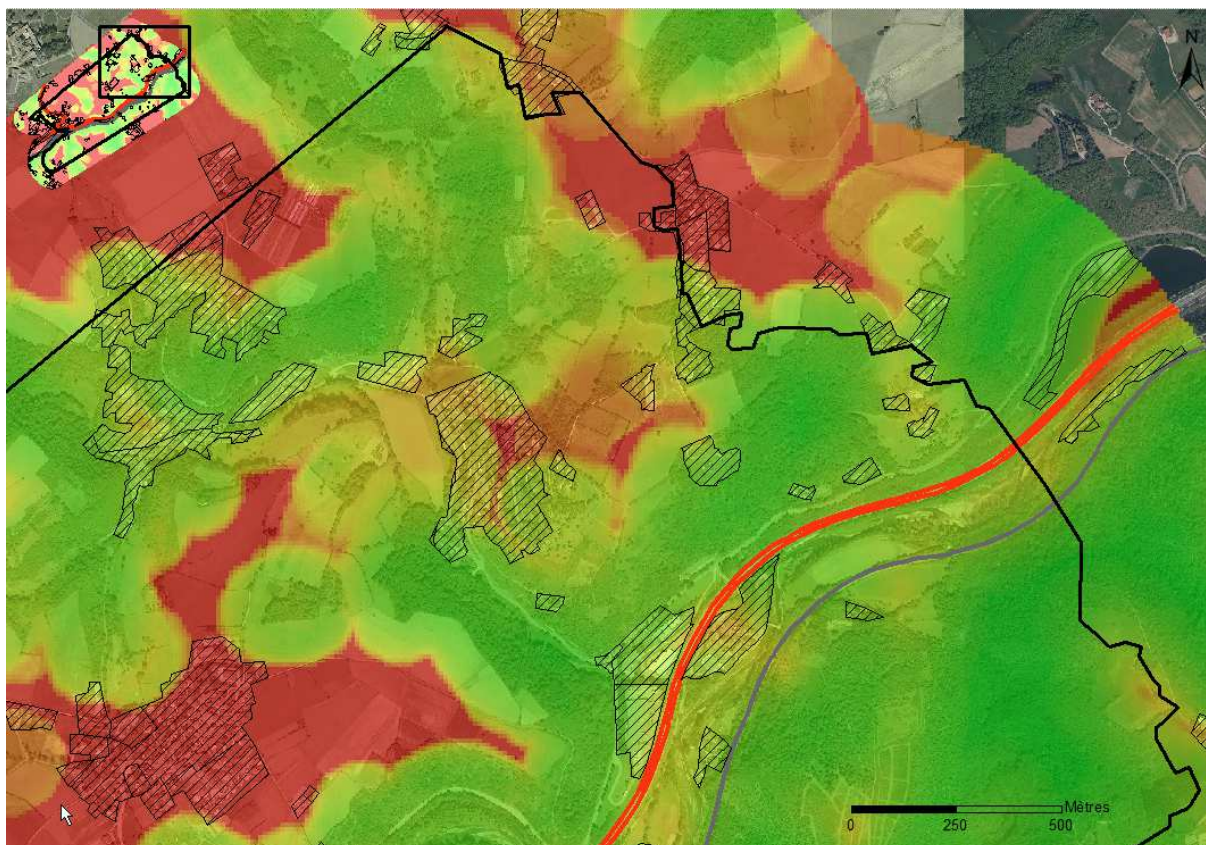


Figure 32 : Connectivité des espaces boisés du corridor de Tartaras en 2010 (zoom sur une zone à enjeux)

La connectivité du corridor de Tartaras apparaît continue sur deux axes (voir Figure 30) dans le corridor, avec une densité d'espaces boisées bonne (voir Figure 29). Le premier axe, de part et d'autre du Gier et des infrastructures autoroutières et ferroviaires est orienté orientation sud-ouest / nord-est. Le second, dans la partie Est du corridor, en limite de périmètre, est dirigé sud-est / nord-ouest, correspondant à la vallée du Lozange. Cela met en évidence le rôle structurant des vallées comme corridor au regard de critères physiques (pente, orientation) et biogéographique (occupation du sol), avec une forte densité de milieux boisés et une bonne connectivité. Mais ici, ce sont les infrastructures de transport qui font de l'axe de la vallée du Gier un corridor orienté sud-ouest / nord-est organisant la fonctionnalité de celui-ci.

Toutefois, cela pose bien évidemment la question de leur (im)perméabilité transversale.

Enfin, même si l'indice de fragmentation a évolué favorablement entre 1991 et 2010 (voir Figure 31), il existe un enjeu fort dans la partie nord du corridor, sur l'axe sud-est / nord-ouest du corridor, avec un risque de limitation, voire de fermeture de la connexion potentielle par le développement de l'urbanisation (voir Figure 32) dans un secteur borné par le bourg de Tartaras, Beaujolin, les Hautes Bruyères et le But.

## II.2.c Le corridor de La Fouillouse

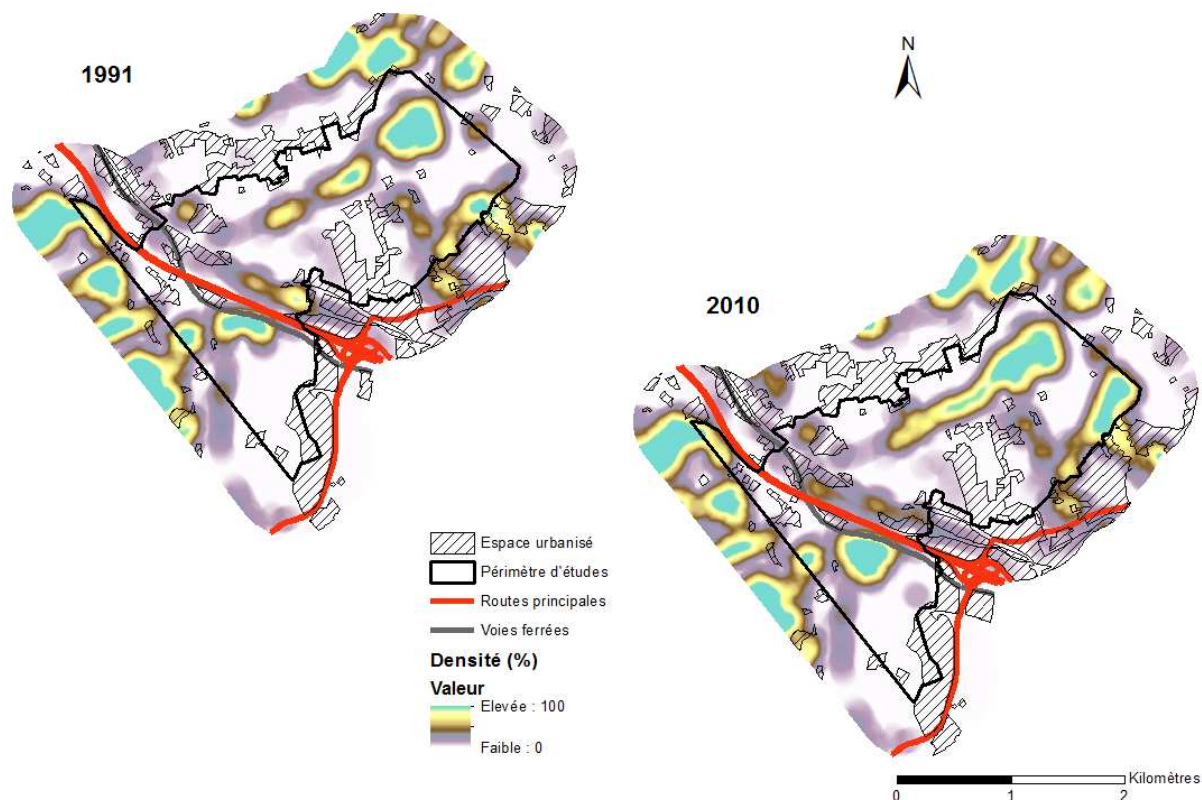


Figure 33 : Évolution de la densité des espaces boisés entre 1991 et 2010 (corridor de La Fouillouse)

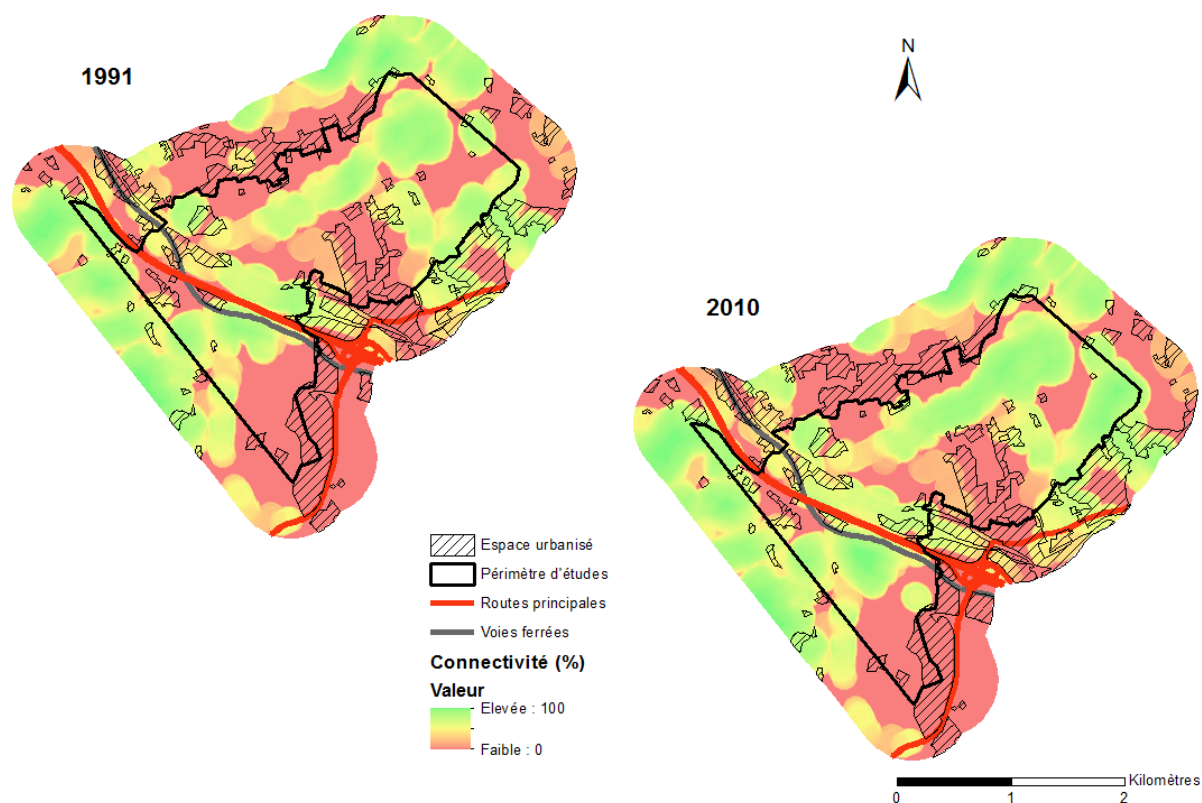


Figure 34 : Évolution de la connectivité des espaces boisés entre 1991 et 2010 (corridor de La Fouillouse)



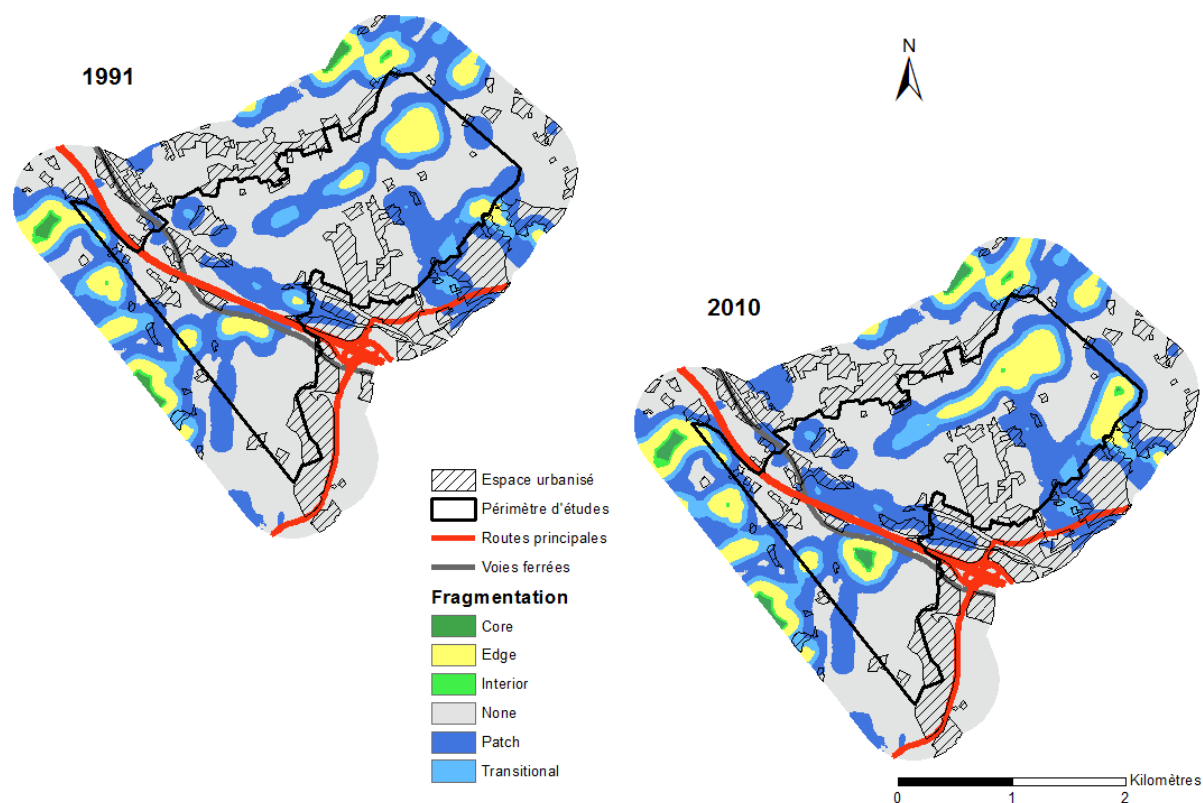


Figure 35 : Évolution des classes de fragmentation entre 1991 et 2010 (corridor de La Fouillouse)

Classe de fragmentation	1991		2010	
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
Cœur / Core	6	0,5	8	0,7
Intérieur / Interior	5	0,4	7	0,6
Indéterminé / Undetermined	-	-	-	-
Perforé / Perforated	-	-	-	-
Lisière / Edge	78	6,3	104	8,5
Transitionnel / Transitional	87	7,1	95	7,7
Tâche / Patch	301	24,4	319	26,0
Autre / None	755	61,4	697	56,6
Total	1 231	100,0	1 231	100,0

Tableau 13 : Évolution de la superficie des classes de fragmentation des espaces boisés entre 1991 et 2010 (corridor de La Fouillouse)

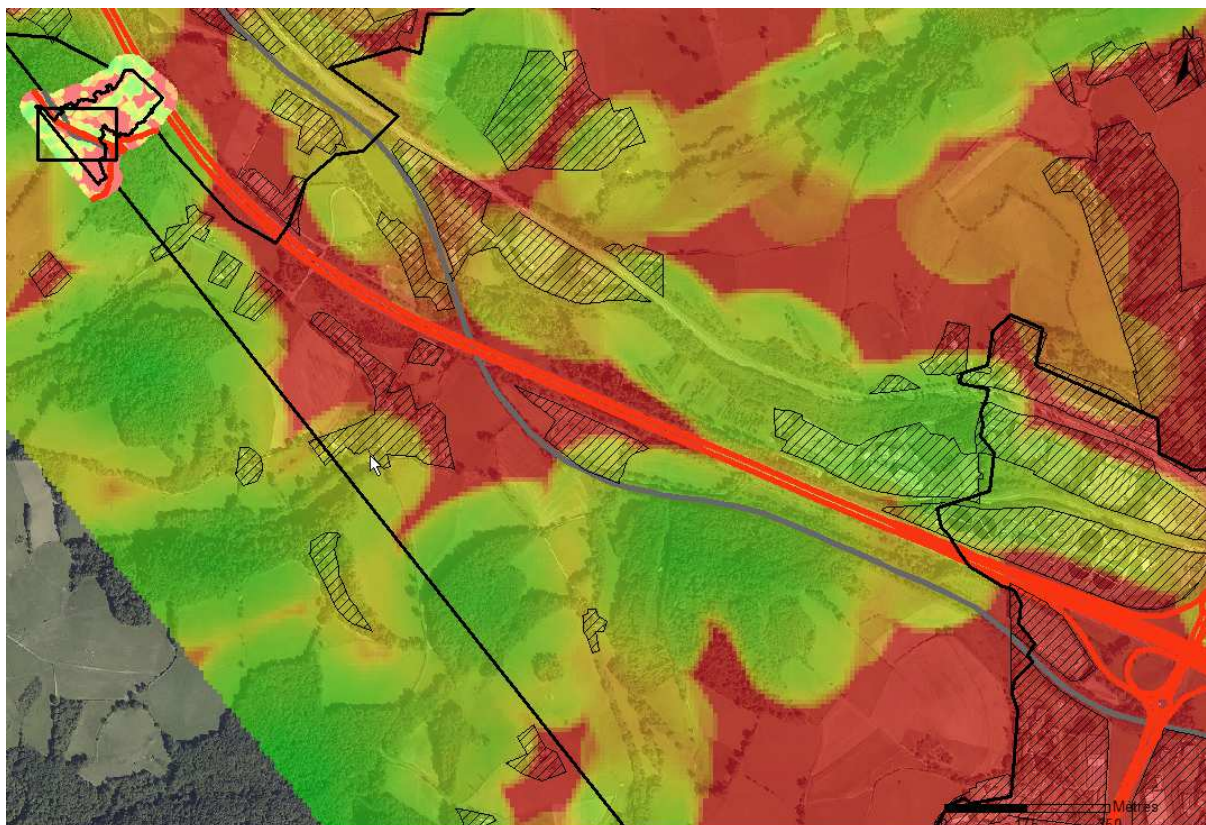


Figure 36 : Connectivité des espaces boisés du corridor de La Fouillouse en 2010 (zoom sur une zone à enjeux)

Le corridor de La Fouillouse présente une « dorsale » boisée caractérisée par une bonne densité, avec toutefois une moindre densité au niveau de les Molineaux (voir Figure 33), une bonne connectivité le long du Pinchigneux (voir Figure 34) et une fragmentation des milieux boisés qui s'améliore (voir Figure 35) de part et d'autre de l'axe que constitue la vallée du Furan et les infrastructures de transport qui s'y superposent.

L'enjeu majeur est lié à la perméabilité des infrastructures autoroutières (A72), routières (D1082) et ferroviaires. Le développement de l'urbanisation entre 1991 et 2010, dans la vallée du Furan en prolongement de la zone d'activité du Porchon, a contraint encore plus le corridor dans ce secteur déjà compliqué (Figure 36).



## II.2.d Le corridor d'Unieux

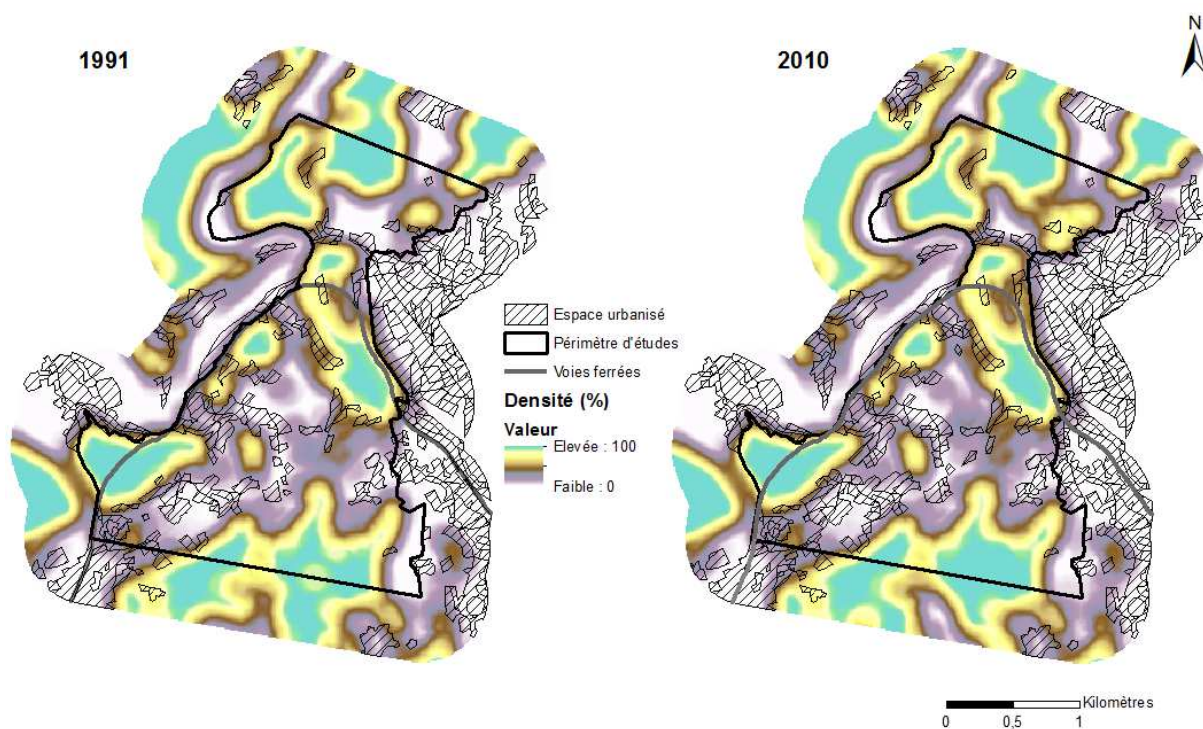


Figure 37 : Évolution de la densité des espaces boisés entre 1991 et 2010 (corridor d'Unieux)

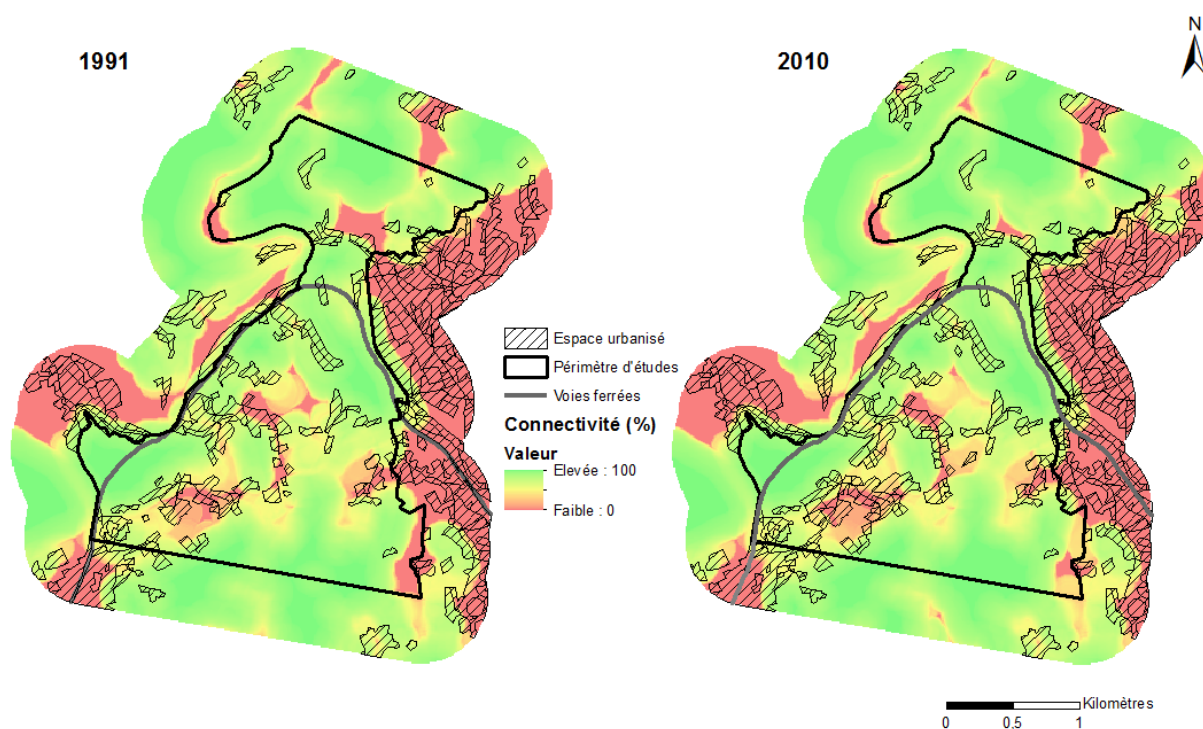
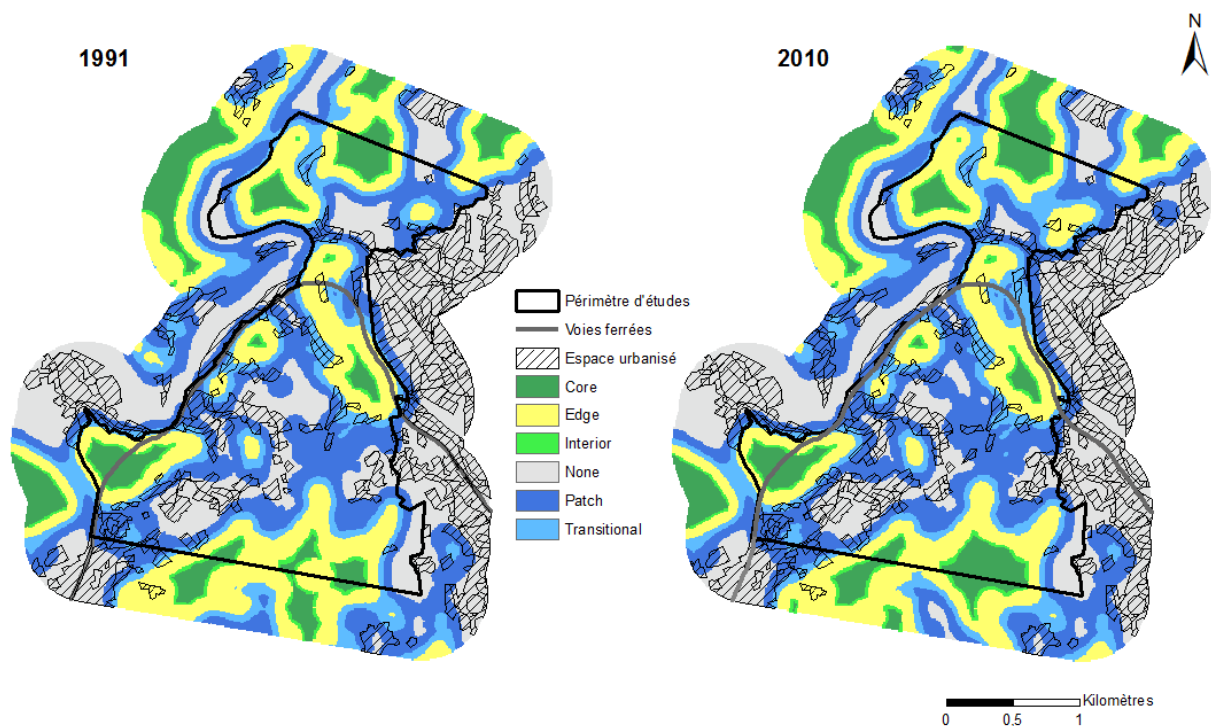


Figure 38 : Évolution de la connectivité des espaces boisés entre 1991 et 2010 (corridor d'Unieux)



**Figure 39 : Évolution des classes de fragmentation entre 1991 et 2010 (corridor d'Unieux)**

Classe de fragmentation	1991		2010	
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
Cœur / Core	94	<b>7,5</b>	108	<b>8,6</b>
Intérieur / Interior	34	<b>2,7</b>	34	<b>2,7</b>
Indéterminé / Undetermined	-	-	-	-
Perforé / Perforated	-	-	-	-
Lisière / Edge	260	<b>20,7</b>	256	<b>20,4</b>
Transitionnel / Transitional	149	<b>11,9</b>	156	<b>12,4</b>
Tâche / Patch	309	<b>24,7</b>	320	<b>25,5</b>
Autre / None	406	<b>32,4</b>	381	<b>30,4</b>
Total	1 253	<b>100,0</b>	1 253	<b>100,0</b>

**Tableau 14 : Évolution de la superficie des classes de fragmentation des espaces boisés entre 1991 et 2010 (corridor d'Unieux)**



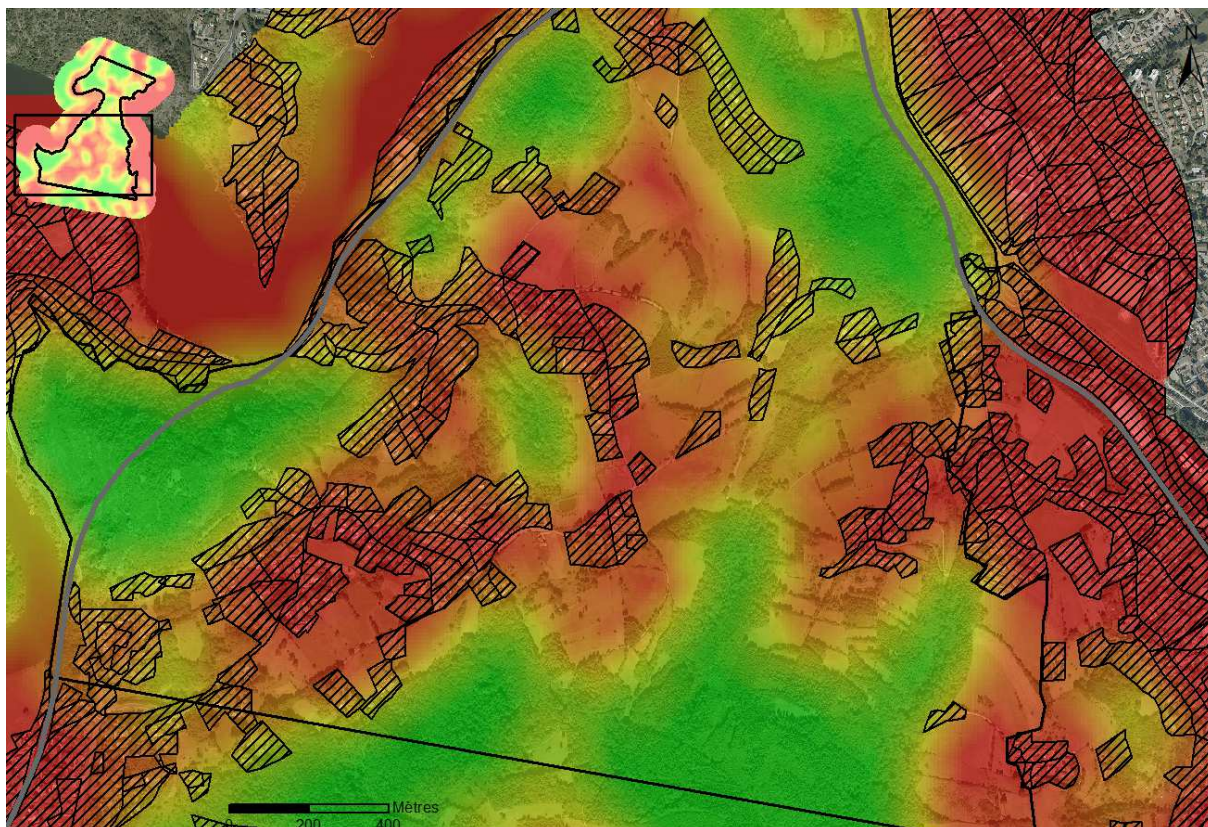


Figure 40 : Connectivité des espaces boisés du corridor d'Unieux en 2010 (zoom sur une zone à enjeux)

Le corridor d'Unieux apparaît comme le corridor qui comporte le plus important réseau d'espaces boisés, en rapport à sa surface (50% en 2010), ce qui lui confère une bonne connectivité d'ensemble (voir Figure 38). Il est, de plus, relativement bien réparti spatialement telle que le montre la carte de la densité (voir Figure 37) et bien structuré, si l'on observe sa fragmentation (voir Figure 39), avec quasiment toute la surface du corridor possédant un indice de connectivité moyen à élevé. Néanmoins, le secteur du Pertuiset reste très difficile pour la circulation de la faune (route, urbanisation, relief, rétablissement de l'Ondaine, etc.). Outre cet enjeu primordial, quant à la fonctionnalité du corridor, l'espace urbanisé en 2010 forme un front dans la partie sud du corridor, entre Saint-Paul-en-Cornillions et Fraisses, qui ne laisse subsister qu'une ouverture véritablement au passage de la faune (Figure 40). L'attention devra porter sur le contrôle du mitage par l'urbanisation dans ce secteur où la circulation de la faune est déjà relativement canalisée et sur la préservation de sa perméabilité. L'on peut également noter la présence d'un noyau boisé au sud-est du centre bourg de Saint-Paul-en-Cornillon qui menace de se fermer de l'axe principal du corridor, avec un risque pour la faune sauvage qu'il ne joue le rôle d'une nasse (la faune sauvage peut y rentrer, mais difficilement en sortir).

Il importe de noter que sur les cartes ci-dessus, la représentation de la voie ferrée fausse un peu l'analyse qui pourrait être fait de son rôle, puisqu'en réalité, elle passe sous plusieurs tunnels, notamment au nord de sa boucle. Elle ne constitue donc pas un véritable obstacle à la circulation de la faune dans ce secteur.

### III. Anticiper les évolutions de l'utilisation du sol : scénarios d'aménagement et simulations spatiales

#### III.1 Méthodologie générale de la démarche de géoprospective

Dans le cadre de l'étude, un des objectifs était d'anticiper les évolutions de l'utilisation du sol à long terme dans le territoire de Saint-Étienne Métropole afin de visualiser l'évolution du système territorial dans son ensemble, c'est-à-dire au-delà des périmètres de vigilance des corridors, en fonction des choix d'aménagement de la planification. Cela est très vite apparu au sein du groupe de réflexion, que constituent les maîtres d'ouvrage associés ; la vue des corridors limitée aux périmètres de vigilance n'est pas satisfaisante, dès lors que la fonctionnalité des corridors s'entend comme la mise en liens des noyaux de biodiversité (vallée de la Loire, Monts du Lyonnais, Pilat) entre eux. Il reste donc un vaste espace, entre les périmètres de vigilance des corridors et les noyaux de biodiversité, non couvert par des mesures spécifiques (telles que celles déclinées dans le CTCB) qui iraient au-delà du simple tracé des corridors écologiques du Scot Sud-Loire. Vaste espace, d'ailleurs soumis à de nombreuses influences et sollicitudes dans tous les domaines (économique, démographique, urbanistique, mobilité, infrastructure de transport, etc.).

Pour répondre à cet objectif d'anticipation, des cartes d'utilisation du sol à l'horizon 2030 ont été construites sur la base de plusieurs scénarios. L'horizon 2030 a été choisi car il correspondait à celui du SCOT Sud Loire. Les travaux se sont basés sur les cartes d'utilisation du sol réalisées dans le volet I de l'étude en 1991 et 2010, qu'il a fallu compléter pour couvrir l'ensemble du territoire de Saint-Étienne Métropole. Ce travail a été réalisé par nos soins et en partie par des stagiaires du laboratoire en 2012 et 2013. Il représente l'équivalent de 10 mois de travail équivalent temps plein. La typologie d'utilisation du sol retenue comporte à six classes pour limiter la combinatoire des types d'évolution : espace urbanisé, espace agricole, verger, friche, espace boisé, eau et infrastructure. Pour réaliser ces cartes, une approche de géoprospective<sup>1</sup>, combinant prospective territoriale et simulations spatiales a été suivie. L'ensemble de la méthodologie est décrite par Dodane *et al.* (2014). C'est cette méthodologie qui a été suivie pour réaliser les cartes de scénarios. Un résumé est proposé ci-dessous.

Pour construire les scénarios d'évolution de l'utilisation du sol, un atelier de prospective territoriale regroupant un panel d'experts locaux, aux compétences et spécialités diverses, issus d'organismes différents a été organisé. Les experts ont été sollicités en fonction de leurs compétences en matière d'aménagement du territoire, de planification et de gestion des environnements naturels et urbains, pour que la majorité des types d'utilisation du sol soit prise en compte. L'atelier s'est organisé en trois temps de mai à juin 2013 et il a réuni une vingtaine de personnes<sup>2</sup>, accompagnées par une équipe de trois chercheurs de

---

<sup>1</sup> Gourmelon *et al.* (2012) définissent la géoprospective comme « un ensemble de pratiques visant à anticiper à moyen et/ou long terme les devenir des espaces, soit en explorant leurs futurs plausibles, soit en simulant les évolutions les conduisant à une situation considérée comme possible à un horizon donné, dans le but d'éclairer les décisions d'aménagement et de gestion des territoires. Sa spécificité repose sur l'intégration de la dimension spatiale aux différents stades du processus prospectif et plus précisément, sur la compréhension et la prise en compte des dynamiques et interactions spatiales, et sur la spatialisation des scénarios prospectifs ».

<sup>2</sup> Saint-Étienne Métropole, Conseil Général de la Loire, Syndicat Mixte du Scot Sud-Loire, Direction Départementale des Territoires de la Loire, Agence d'urbanisme de la région stéphanoise, Conservatoire

l'Université Jean Monnet de Saint-Étienne et de l'Université de Lyon (CNRS - UMR 5600 EVS)

Dans un premier temps, l'utilisation du sol du territoire de Saint-Étienne Métropole, reconstituée à deux dates (1991 et 2010), a été présentée aux participants, leur donnant une vue des changements passés de l'utilisation du sol, dont l'interprétation a conduit à une première série d'échanges. Dans un deuxième temps, les participants ont réfléchi aux évolutions possibles de l'utilisation du sol dans le territoire de Saint-Étienne Métropole à l'horizon 2030, à partir des changements constatés dans le passé. L'objectif était d'identifier les facteurs de maintien ou de changement dans le futur des dynamiques identifiées. Ce travail de réflexion collective a débouché sur la production d'une part, d'un schéma heuristique du fonctionnement du territoire de Saint-Étienne Métropole (voir Figure 41<sup>3</sup>) et d'autre part, de grands scénarios d'évolution du territoire à long terme, susceptibles de se traduire par des transformations de l'utilisation du sol. Le troisième temps a été consacré à la traduction par l'équipe d'animation de ces scénarios en modèles de simulation informatique de changement d'utilisation du sol. Pour chacun de ces scénarios des cartes d'usage du sol en 2030 ont été réalisées, au format raster avec une résolution de 10 m. Ces cartes ont été comparées et discutées dans l'atelier 3. À l'issue du dernier atelier, les participants ont manifesté leur intérêt et leur volonté que l'équipe d'accompagnement organise un quatrième et dernier temps qui serait celui de la restitution, communication et valorisation des résultats d'ensemble de la démarche aux participants de l'atelier d'abord, puis à un collectif plus large de techniciens et d'élus du territoire de Saint-Étienne Métropole et même des territoires environnants. Une série de présentations de la démarche a permis de confronter nos hypothèses à des cénacles de chercheurs et de professionnels variés. Les échanges ont été nombreux tout au long de la démarche et la parole partagée.

La réponse apportée par l'équipe accompagnatrice à la demande d'organiser un quatrième temps à la démarche prospective a été positive. L'équipe s'est engagée d'une part, à enrichir et compléter la cartographie de l'utilisation du sol en prenant en compte la dimension économique à travers l'identification des zones d'activités, commerciales, etc. et d'autre part, à relancer une série de simulations spatiales des évolutions de l'utilisation du sol à l'échelle du territoire de Saint-Étienne Métropole sur la base du retour et des souhaits émis par les experts présents en atelier (notamment sur un scénario de ralentissement de l'étalement urbain en intégrant les contraintes réglementaires du Scot Sud-Loire nouvellement approuvé). Un stagiaire a été recruté en mars 2014, par le laboratoire ISTHME, pour accompagner l'équipe de chercheurs sur le volet cartographie des zones économiques. La réunion de restitution, communication et de valorisation des résultats d'ensemble de la démarche pourrait avoir lieu en juillet ou en septembre 2014.

---

d'espaces naturels Rhône-Alpes, Fédération des chasseurs de la Loire, Fédération Rhône-Alpes de Protection de la Nature, Parc Naturel Régional du Pilat, Chambre d'agriculture de la Loire.

<sup>3</sup> La mind map (carte mentale) est ici présentée dans son ensemble. Pour une meilleure lisibilité, se reporter au fichier numérique livré avec le présent rapport final.



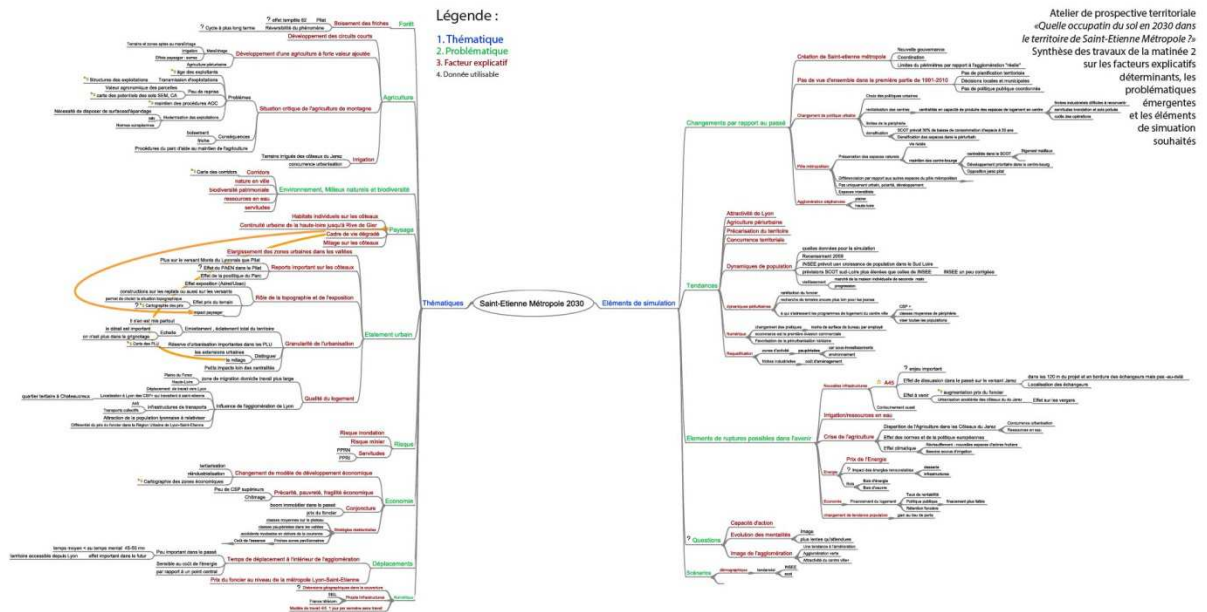


Figure 41 : Schéma heuristique du fonctionnement du territoire de Saint-Étienne Métropole

Dans l'atelier, il n'était pas envisageable de présenter toutes les combinaisons possibles des simulations correspondant aux trois thèmes retenus (tendanciel, impact des mesures de la planification et ralentissement de l'étalement urbain avec prise en compte des mesures de la réglementation). L'analyse ne prenant sens que par la comparaison des variantes, seules les plus significatives d'entre-elles ont été conservées. Par ailleurs, toutes les combinaisons ne sont pas pertinentes. Au final, trois scénarios ont été choisis par les animateurs pour produire des simulations (voir Tableau 15).

Rythme des changements dans l'utilisation du sol par rapport au passé	Application des règlements	Application d'un effet polarité	Scénarios
Inchangé	Pas de contrainte réglementaire	Sans effet	Scénario tendanciel
	Contraintes réglementaires	Sans effet	Scénario planification (application des contraintes réglementaires de la planification)
Ralentissement étalement urbain	Contraintes réglementaires	Sans effet	Scénario densification (réduction du rythme de consommation de foncier agricole et naturel et application des contraintes réglementaires de la planification)

Tableau 15 Des scénarios prospectifs pour piloter des simulations spatiales

### III.2 Méthodes et outils des simulations spatiales

L'outil utilisé pour quantifier et cartographier les changements de l'utilisation du sol passée, en extraire un modèle global de changements et simuler l'évolution à long terme, est le module Land Change Modeler (LCM) du logiciel Idrisi, développé par le Clark Labs de l'Université de Worcester aux États-Unis<sup>4</sup>. Il met en œuvre des méthodes et techniques classiques pour ce type de modélisation (chaînes de Markov, analyse statistique et réseau de neurones, automates cellulaires et allocation multi-objectifs<sup>5</sup>). Intégré dans un environnement de Système d'Information Géographique, son mode d'assistance facilite le travail et permet à un non spécialiste de le mettre en œuvre. Ce module permet de construire un modèle global de répartition de l'utilisation du sol dans le futur, à partir de l'observation des transitions d'un type d'utilisation du sol à un autre, en fonction de facteurs géographiques ou physiques.

Par ailleurs, un SIG a été constitué pour stocker et analyser les données nécessaires à aux simulations spatiales (Modèle Numérique de Terrain, pentes, orientation, réseau routier et ferroviaire, données de planification, limites administratives, etc.).

Le SIG élaboré dans le cadre de l'étude et versé aux résultats, permet de multiples interrogations et croisements des données produites. Toutes les combinaisons envisageables n'ont pas fait l'objet d'une sortie cartographique en particulier. Le SIG doit être considéré comme outil d'aide à la décision à mobiliser à façon en fonction des problématiques et des besoins.

Toutefois, vu l'importance de la masse de données géographiques produites dans le cadre de cette étude, ainsi que par l'ensemble des autres maîtres d'ouvrage associés, il nous est apparu nécessaire d'entreprendre une réflexion sur la manière dont il serait possible de partager ces données.

C'est dans ce contexte que quatre étudiantes du Master 2 SIG et Gestion de l'espace de l'Université Jean Monnet de Saint-Étienne, encadrées par nos soins, ont réalisé et remis en janvier 2012 une pré-étude de faisabilité (Batany *et al.*, 2012) d'un outil de géovisualisation, à la fois outil de suivi scientifique, technique et d'aide à la décision. La synthèse de cette étude figure en annexe A.

#### **III.2.a Changements d'utilisation du sol entre 1991 et 2010 dans le territoire de Saint-Étienne Métropole**

Le bilan des pertes et des gains entre les différents types d'utilisation du sol sur le territoire de Saint-Étienne Métropole pour la période 1991-2010 (voir Figure 42) montre que :

- Les espaces agricoles ont perdu 3524 ha et gagné 372 ha (solde net = - 3151 ha).
- Les friches ont perdu 1506 ha et gagné 824 ha (solde net = - 683 ha).
- Les vergers ont perdu 274 ha et gagné 345 ha (solde net = + 71 ha).
- Les espaces boisés ont perdu 132 ha et gagné 1980 ha (solde net = + 1848 ha).
- Les espaces urbanisés ont perdu 47 ha et gagné 2117 ha (solde net = + 2070 ha).
- Les espaces urbanisés libres ont perdu 388 ha et gagné 189 ha (solde net = - 199 ha).

<sup>4</sup> <http://www.clarklabs.org/products/Land-Change-Modeling-IDRISI.cfm>

<sup>5</sup> LCM n'utilise pas de systèmes multiagents, autre technique souvent employée dans la simulation de l'occupation du sol.

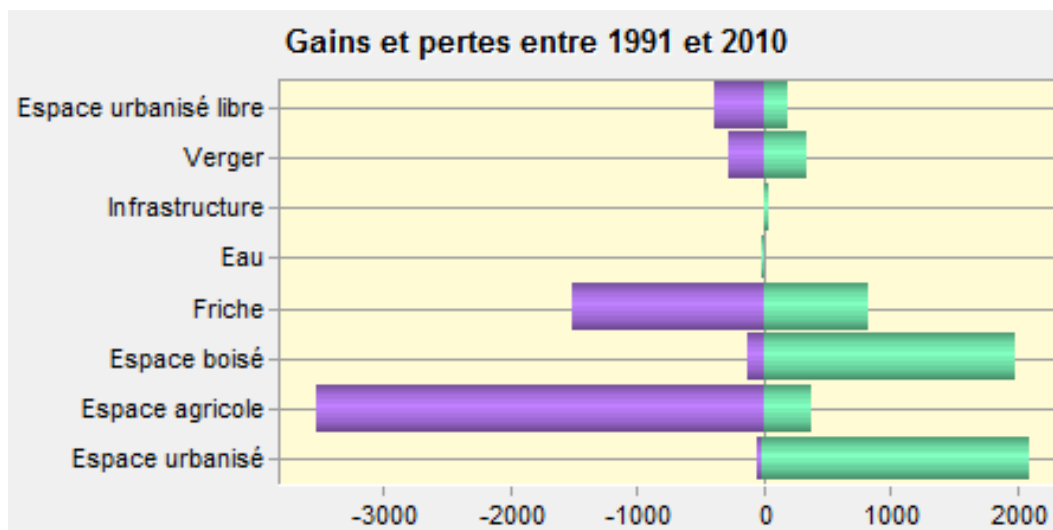


Figure 42 Solde brut des gains et pertes entre les différents types d'utilisation du sol du territoire de Saint-Étienne Métropole entre 1991-2010

Les transitions entre les différents types d'utilisation du sol ont été observées entre 1991 et 2010 (voir Figure 43), mais toutes ne sont pas significatives de l'évolution globale passée. Seules les transitions de plus de 50 hectares, au nombre de 12, ont été prises en compte.

## 1991-2010 changements

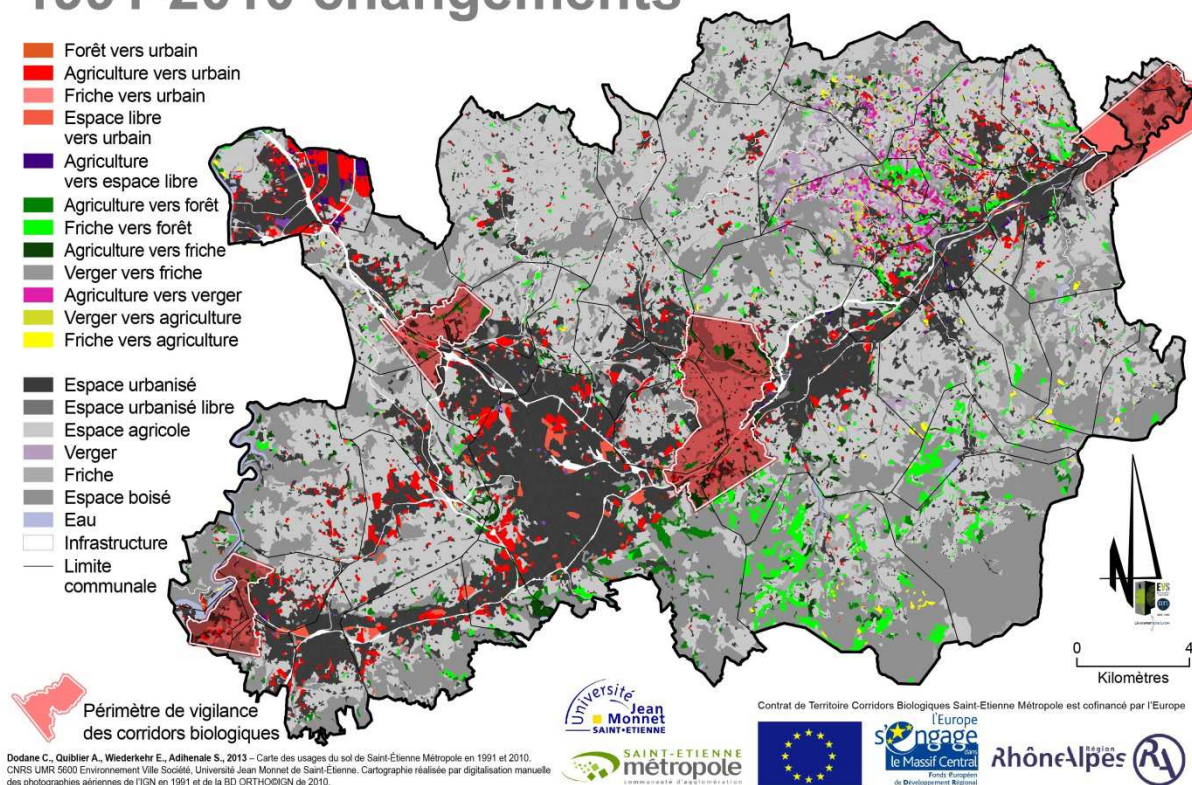


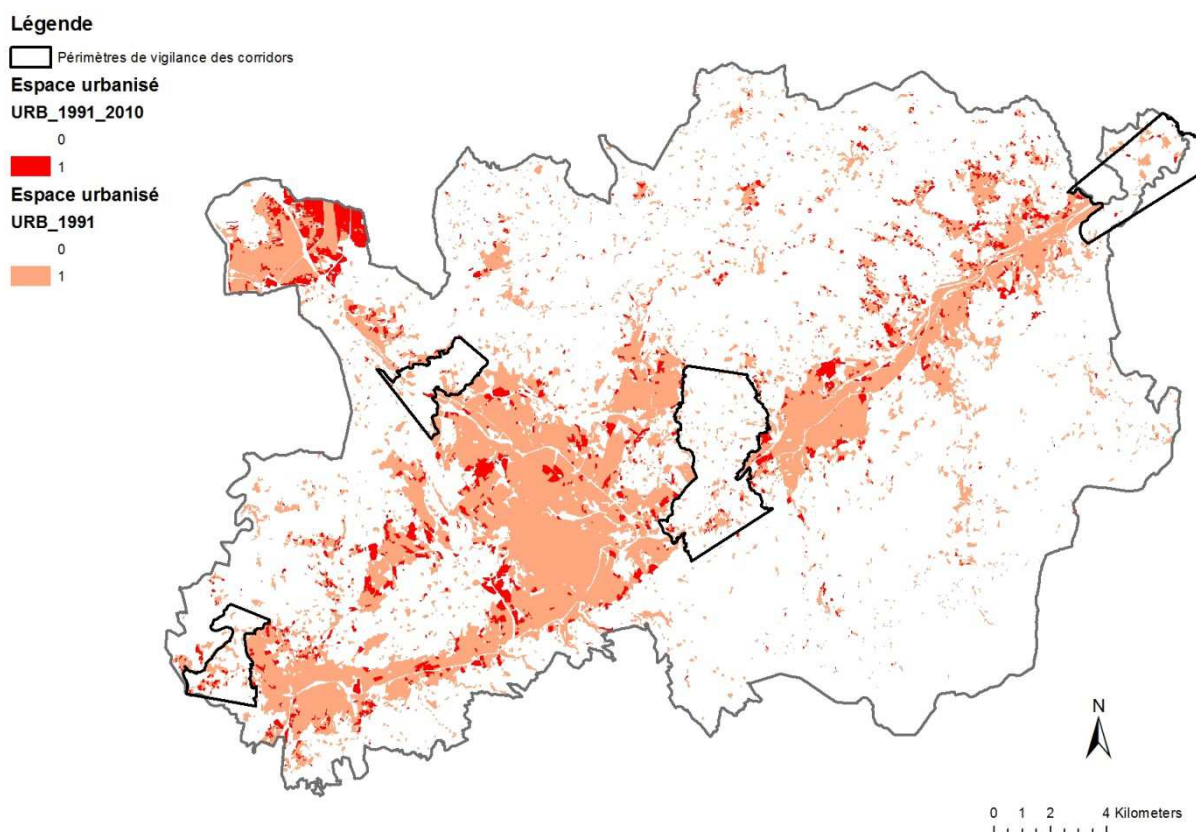
Figure 43 Changements d'utilisation du sol dans le territoire de Saint-Étienne Métropole entre 1991 et 2010

Les douze transitions principales, faisant l'objet d'une modélisation, sont présentées, par ordre d'importance surfacique, dans le Tableau 16.

Transitions	Superficie (ha)
Espace agricole vers Espace urbanisé	1 641
Friche vers Espace boisé	1 328
Espace agricole vers Espace boisé	652
Espace agricole vers Friche	621
Espace agricole vers Verger	328
Espace urbanisé libre vers Espace urbanisé	295
Verger vers Espace agricole	168
Espace agricole vers Espace urbanisé libre	126
Friche vers Espace agricole	113
Verger vers Friche	71
Espace boisé vers Espace urbanisé	62
Friche vers Espace urbanisé	51

**Tableau 16 : Transitions de plus de 50 ha dans l'évolution de l'utilisation du sol du territoire de Saint-Étienne Métropole de entre 1991 et 2010**

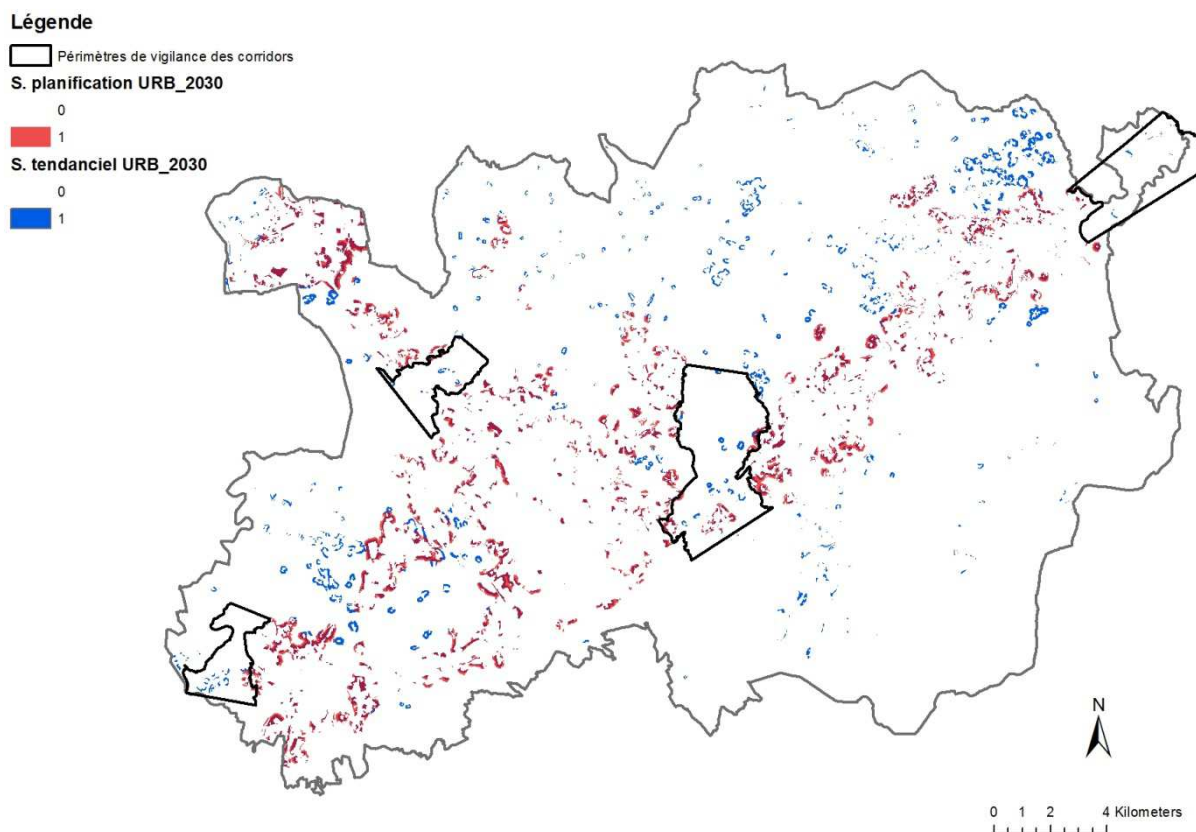
Nous présentons, ci-après, quelques exemples de sorties cartographiques des données du SIG qui pourraient être utilisées. La carte ci-dessous (Figure 44) fait ressortir l'extension de la tâche urbaine entre 1991 et 2010 (en rouge) dans le territoire de Saint-Étienne Métropole par rapport à l'étendue de qu'elle occupait déjà en 1991.



**Figure 44 : Extension de la tâche urbaine dans le territoire de Saint-Étienne Métropole entre 1991 et 2010**



La carte ci-dessous (Figure 45) permet de visualiser l'impact de la prise en compte des règlements de la planification (scénario planification) dans la simulation de l'extension de la tâche urbaine en 2030 (en rouge avec effet de transparence) par rapport scénario tendanciel (en bleu).



**Figure 45 : Comparaison de l'extension de la tâche urbaine dans le territoire de Saint-Etienne Métropole en 2030 : scénario planification / scénario tendanciel**

### **III.2.b Modélisation des changements d'utilisation du sol**

Chacune des transitions identifiées est modélisée dans un sous-modèle, l'ensemble des sous-modèles formant le modèle global. La détermination des sous-modèles se fait de manière empirique en testant les variables explicatives et leurs combinaisons (voir Tableau 17). Ces variables peuvent être statiques, c'est-à-dire indépendantes du pas de temps du modèle (ex : altitude, pente, voir Figure 46) ou dynamique (ex : distance aux espaces urbanisés). Le choix d'un sous-modèle est validé par un taux de précision calculé par le réseau de neurones (perceptron multi-couches) supérieur à 80 %. La modélisation de certaines transitions, en fonction du degré d'agrégation de la donnée d'utilisation du sol, ne peut atteindre le score de 80% ; des scores de 65 à 80% sont jugés acceptables.



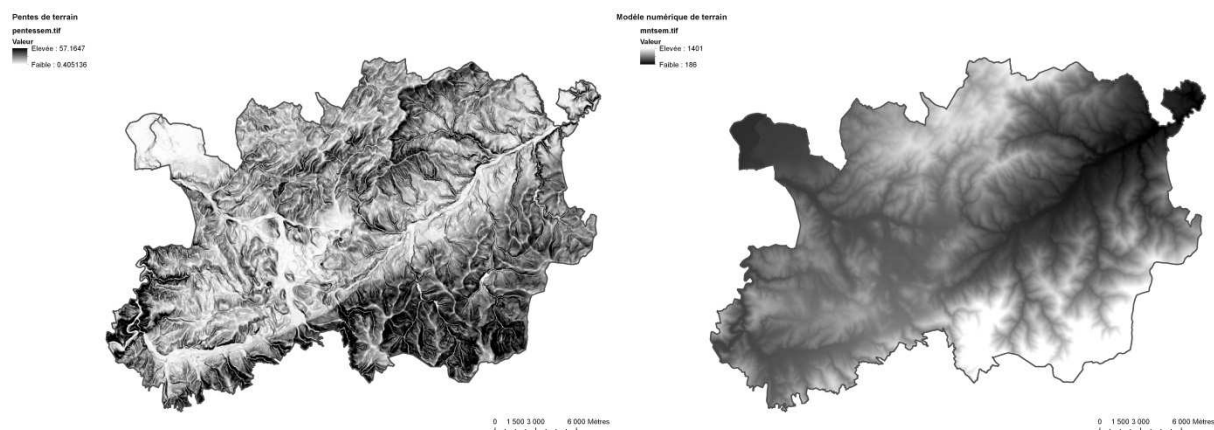


Figure 46 : Les pentes et l'altitude : exemple de deux facteurs physiques entrant dans la modélisation

Modèles	Variable 1	Variable 2	Variable 3	Variable 4	Variable 5	Score
Urbanisation d'un tènement agricole <b>DEVURBA</b>	distance aux centres urbains	distance aux routes	distance aux espaces urbanisés de 1991	pente	altitude	91 %
Urbanisation d'un tènement boisé <b>DEVURBAFOR</b>	"likelihood" de Land Change Modeler*	pente	altitude	exposition	distance aux espaces urbanisés de 1991	85 %
Densification d'un tènement urbanisé libre Par ex. développement d'un bâti dans une friche urbaine <b>DENSURBA</b>	"likelihood" de Land Change Modeler*	distance aux centres urbains	distance aux routes	distance aux espaces urbanisés de 1991		76 %
Urbanisation d'un tènement agricole vers un espace urbanisé libre Par ex. lors de la création d'une zone économique d'anciennes parcelles agricoles sont aménagées mais non bâties <b>DEPRISEURBA</b>	"likelihood" de Land Change Modeler*	distance aux routes	altitude	pente	distance aux espaces urbanisés libres de 1991	91 %
Enrichissement d'un tènement agricole <b>DEPRISE</b>	"likelihood" de Land Change Modeler*	distance aux espaces urbanisés de 1990	altitude	pente		75 %
Boisement d'un tènement agricole <b>BEVFORET</b>	"likelihood" de Land Change Modeler*	pente	distance à la forêt	altitude		90 %
Développement des usages agricoles <i>Défrichement principalement</i> <b>DEVAGRI</b>	pente	altitude	distance aux routes	distance à la forêt	distance aux centres urbains	70 %

\* La fonction « Evidence Likelihood » du module Variable Transformation Utility de LCM permet de créer une variable quantitative à partir de la carte des changements d'utilisation du sol entre 1991 et 2010 corrélée avec la carte de l'utilisation du sol en 1990. Celle-ci va appuyer le fait que les changements d'utilisation du sol sont liés à l'utilisation du sol d'origine. L'intégration de cette variable aide grandement à améliorer la « précision » statistique des sous-modèles.

Tableau 17 : Sous-modèles empiriques rattachés à des variables explicatives des changements d'utilisation du sol entre 1991 et 2010 dans le territoire de Saint-Étienne Métropole

On constate que le modèle « expliquant » les changements d'utilisation du sol dans le passé est sommaire et mobilise des facteurs causaux très simples, fondés essentiellement sur des facteurs physiques de localisation et de distance.

Une variable peut être statique, c'est-à-dire calculée une seule fois au début de la simulation ou dynamique, c'est-à-dire recalculée à plusieurs étapes, voire chaque année (par exemple, la variable distance aux espaces urbanisés de 1991). Toutefois, dans la simulation, toutes les variables ont été considérées comme statiques dû à un problème du logiciel Land Change Modeler ; bug informatique qui n'a pas pu être résolu.

Le modèle global consiste en :

- Un modèle temporel, basé sur des chaînes de Markov, pilotant la probabilité générale de changement de l'utilisation du sol, tiré du rythme des changements passés. Ce modèle produit une matrice de transition qui donne le rythme associé à chaque transition. La matrice des transitions (voir Tableau 18) présente la probabilité de passage d'un usage du sol à un autre pour un pas de temps donné. Les valeurs varient donc entre 0 et 1. Une valeur de 0 indique que la transition n'a aucune chance de se produire, une valeur de 1 qu'elle est certaine de se produire.
- Un modèle spatial d'allocation de probabilité de transition fondé sur un calcul statistique de type réseau de neurones basé sur des variables corrélées à l'utilisation du sol. Ce modèle fournit des cartes de transition potentielle, ou probabilité de changement d'un type d'utilisation du sol. À chaque transition possible est associée une carte (exemple sur la Figure 47).
- Un algorithme d'allocation multi-objectif stochastique qui alloue les nouvelles utilisations du sol à chaque pas de temps, à partir des différentes probabilités qu'un changement se produise et en respectant le rythme global de changement pour chacune des transitions.

En combinant ces différents outils, il est possible de produire deux types de carte : une carte de simulation dite « hard », qui alloue à chaque pixel de la carte un type d'utilisation du sol et un seul, et un résultat de simulation dit « soft », qui associe à chaque pixel une valeur d'intensité de changement au cours du temps, une sorte de propension générale au changement d'utilisation du sol.

	Espace urbanisé	Espace agricole	Espace boisé	Friche	Eau	Infrastructure	Verger	Espace urbanisé libre
Espace urbanisé	0,9954	-	-	-	-	0,0003	-	0,0043
Espace agricole	0,0613	0,8676	0,0213	0,0297	0,0004	0,0013	0,0130	0,0054
Espace boisé	0,0042	0,0026	0,9908	0,0017	0,0002	0,0001	0,0001	0,0002
Friche	0,0197	0,0466	0,5239	0,4003	0,0009	-	0,0056	0,0029
Eau	0,0005	0,0012	0,0307	0,0011	0,9664	-	-	-
Infrastructure	-	-	-	-	-	1,0000	-	-
Verger	0,0255	0,1977	-	0,0897	0,0006	-	0,6834	0,0032
Espace urbanisé libre	0,7201	0,1024	0,0244	0,0130	-	0,0034	-	0,1367

**Tableau 18 : Matrice des transitions établissant la probabilité de changement d'un type d'utilisation du sol vers un autre (entre 1991 et 2010 dans le territoire de Saint-Étienne Métropole)**

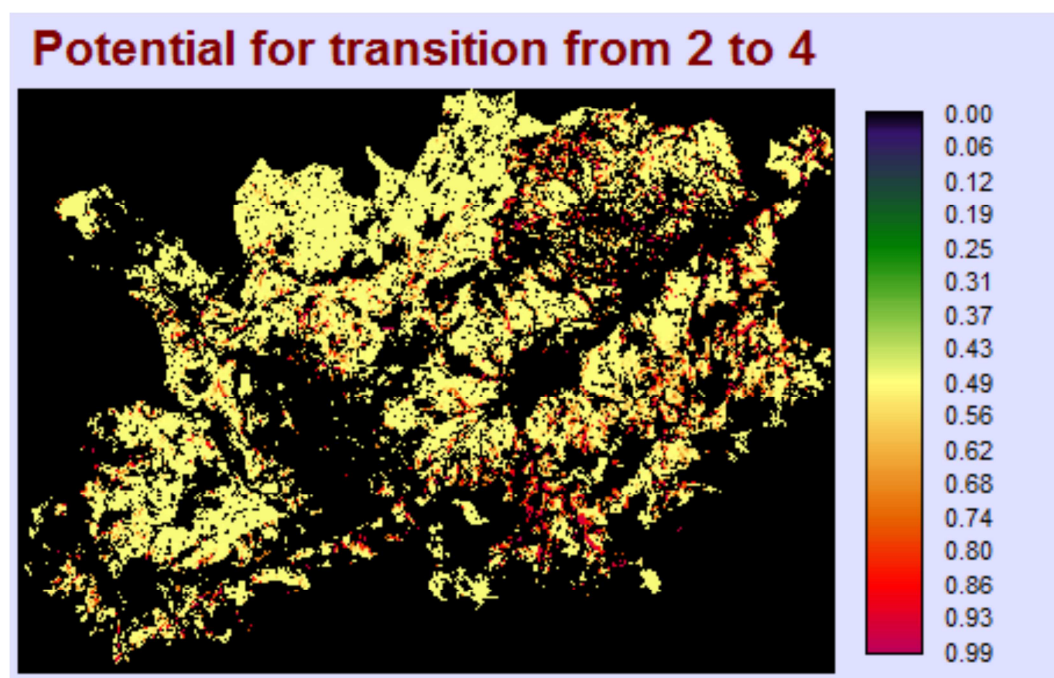


Figure 47 : Carte de probabilités de changement de l'espace agricole vers la friche

### III.2.c Simulation spatiale des évolutions de l'utilisation du sol

En supposant que le mode de répartition spatiale de l'utilisation du sol a évolué par rapport au passé, l'utilisateur peut paramétrer différemment les simulations spatiales. Pour simuler l'utilisation du sol future, les paramètres de la matrice de transition peuvent être modifiés tout comme le rythme pour certaines transitions. Par exemple, ralentir ou accélérer le rythme de croissance des espaces urbanisés afin de simuler leur densification ou leur étalement.

Il est possible également de ralentir ou d'accélérer les transitions dans le modèle en fonction de paramètres géographiques. Par exemple, en prenant compte des contraintes réglementaires, pour la plupart issues des politiques urbaines et d'aménagement du territoire (zonages du Scot, Plans Locaux d'Urbanisme (PLU), Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI), périmètres de Protection des espaces Agricoles et Naturels Périurbains<sup>6</sup>) ou des politiques d'environnement (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF), réserves naturelles, Espace Naturel Sensible (ENS), etc.).

Trois scénarios ont fait l'objet d'une simulation spatiale. Il s'agit des scénarios :

- Tendanciel : simulation réalisée sur la continuation du rythme des changements d'utilisation du sol passée (1991 - 2010) jusqu'en 2030,
- Planification : simulation réalisée sur la continuation du rythme des changements d'occupation du sol passée (1991 - 2010) jusqu'en 2030, avec prise en compte de quatre contraintes réglementaires de la planification, à l'échelle du territoire de Saint-Étienne Métropole : 1) les zones à urbaniser des POS et des PLU, 2) le zonage du Scot Sud-Loire dans le territoire de Saint-Étienne Métropole, 3) les périmètres

<sup>6</sup> Institués par la loi relative au développement des territoires ruraux de 2005, les "périmètres de protection et de mise en valeur des espaces agricoles et naturels périurbains" sont plus connus sous le terme de PAEN au niveau national.

possibles des PENAP, 4) les périmètres des risques naturels, industriels et technologiques,

- **Densification** : simulation réalisée sur la décélération du rythme des changements d'occupation du sol passée (1991 - 2010) jusqu'en 2030 : - 20% d'espaces urbanisés.

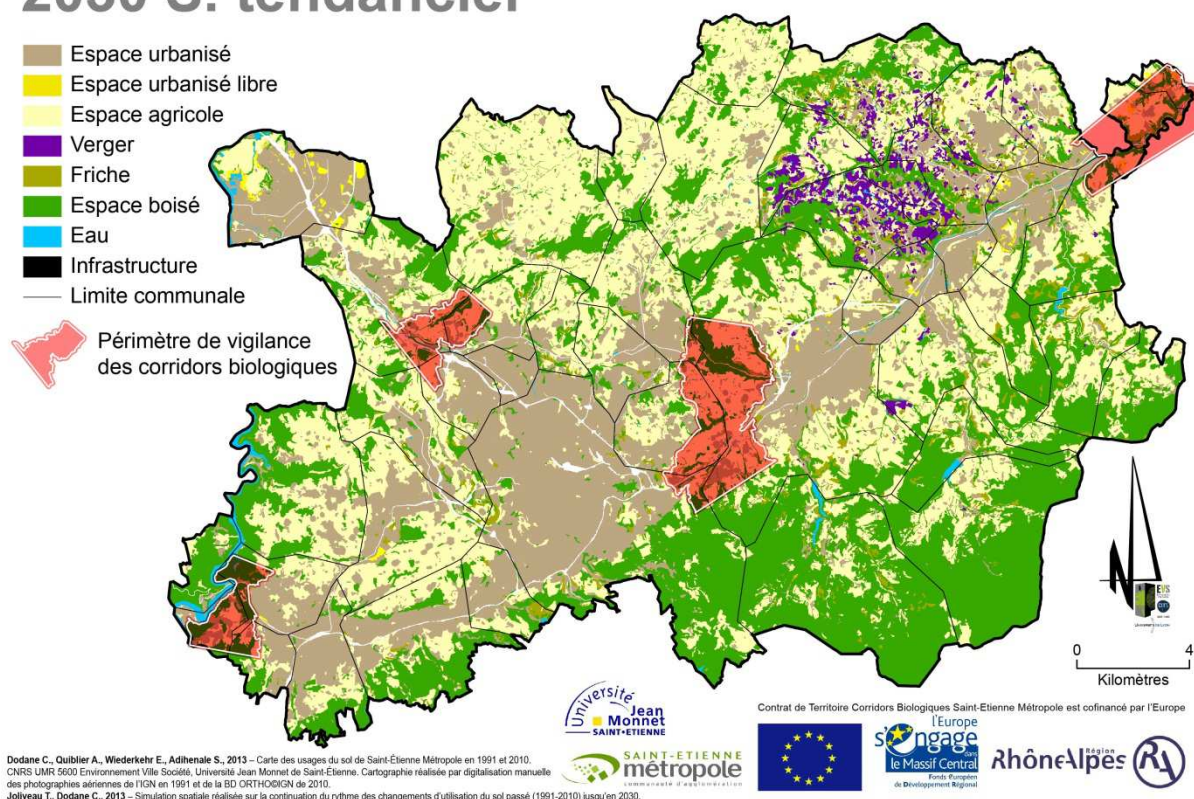
### III.1 Résultats des simulations spatiales de l'utilisation du sol

Les cartographies présentées ici attestent des résultats obtenus dans le cadre de la démarche. Il est bien entendu que leur exploitation relève d'un travail technique d'accompagnement qui ne faisait pas l'objet de la présente étude.

#### III.1.a Scénario tendanciel

Le scénario tendanciel prolonge dans le futur les évolutions observées dans le passé entre 1991 et 2010 (voir Figure 48). Les évolutions de 2010 à 2030 sont identiques aux évolutions passées en termes de rythme de changement pour chacune des transitions modélisées (rapporté à la superficie de changement par ha et par an qu'il s'agisse de pertes ou de gains). Le scénario tendanciel illustre donc une évolution qui ne serait contrainte par aucune procédure de planification.

## 2030 S. tendanciel



**Figure 48 : Anticiper le scénario d'évolution tendancielle dans le territoire de Saint-Étienne Métropole en 2030**

Pour le scénario tendanciel, il nous a paru intéressant de se focaliser sur un résultat de simulation dit « soft » (cette cartographie associe à chaque pixel une valeur d'intensité de changement au cours du temps, une sorte de propension générale au changement d'utilisation du sol) (voir Figure 49). Cette cartographie a valeur heuristique dans le sens où



elle permet de bien saisir la problématique spatiale, pour le maintien de la fonctionnalité des corridors que constituerait, par exemple, la poursuite de l'étalement urbain à horizon 2030 sur le même rythme que la tendance passée d'urbanisation (1991-2010). Plus les pixels de la carte prennent une couleur dans les tons rouge foncé, plus cet état indique qu'ils sont potentiellement susceptibles de changer d'utilisation du sol. Ce que la simulation « soft » permet de voir ce sont les secteurs mis en avant par le modèle. Cela veut donc dire que si les paramètres explicatifs du modèle (géographiques et physiques) ont un sens, alors il peut être intéressant de lancer un travail technique pour essayer de comprendre plus avant cette sensibilité du modèle afin de faire émerger un certain nombre d'interrelations spatiales et de questionnements.

## 2030 S. tendanciel

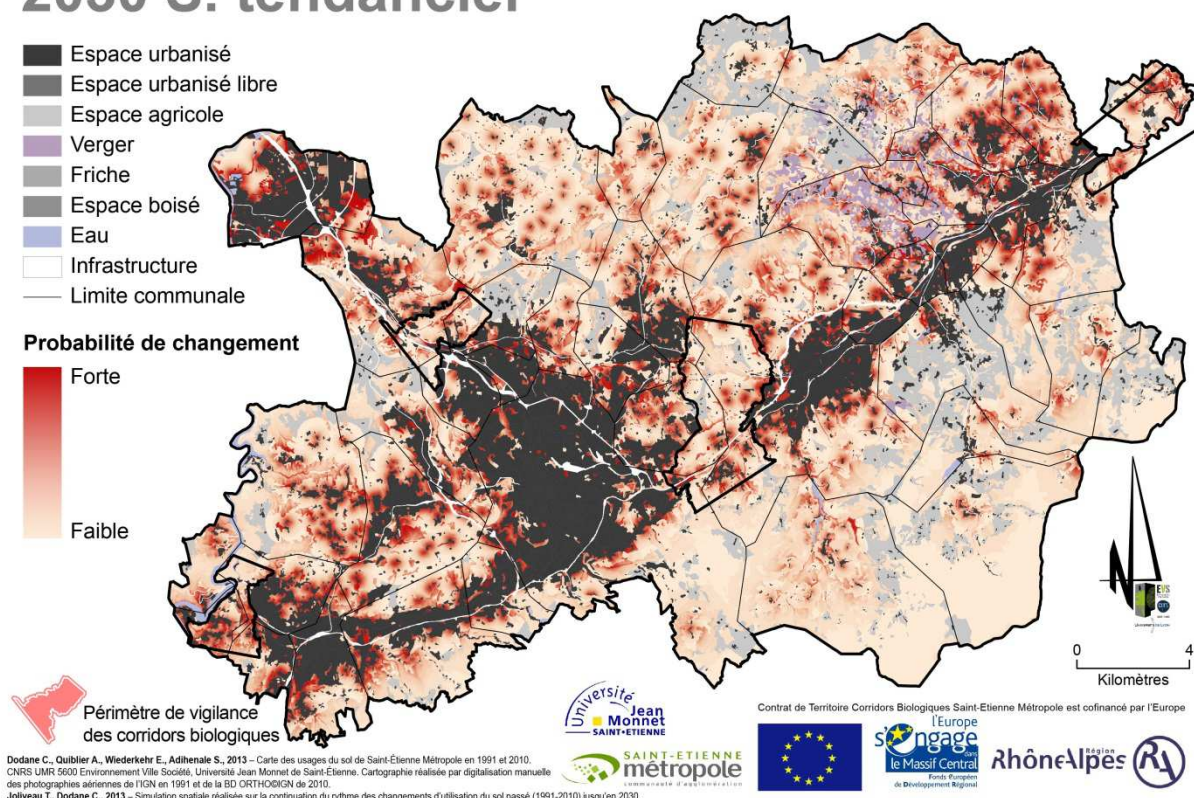


Figure 49 : Probabilité de changement des espaces urbanisés à horizon 2030 dans le scénario tendanciel

### III.1.b Scénario planification

Les contraintes de la planification prises en compte dans la simulation spatiale du scénario planification, à l'échelle du territoire de Saint-Étienne Métropole, sont : 1) les zones à urbaniser des POS et des PLU (Figure 50), 2) les zonages du Scot Sud-Loire dans le territoire de Saint-Étienne Métropole (Figure 51), 3) les périmètres possibles des PENAP (Figure 52), 4) les périmètres des risques naturels, industriels et technologiques (Figure 53).

#### Zonages PLU

- Zone Agricole (A)
- Zone Naturelle (N)
- Zone Urbaine (U)
- Zone Economique d'extension future (AU)
- Zone Urbaine d'extension future (AU)
- Zone d'Aménagement Concerté (ZAC)

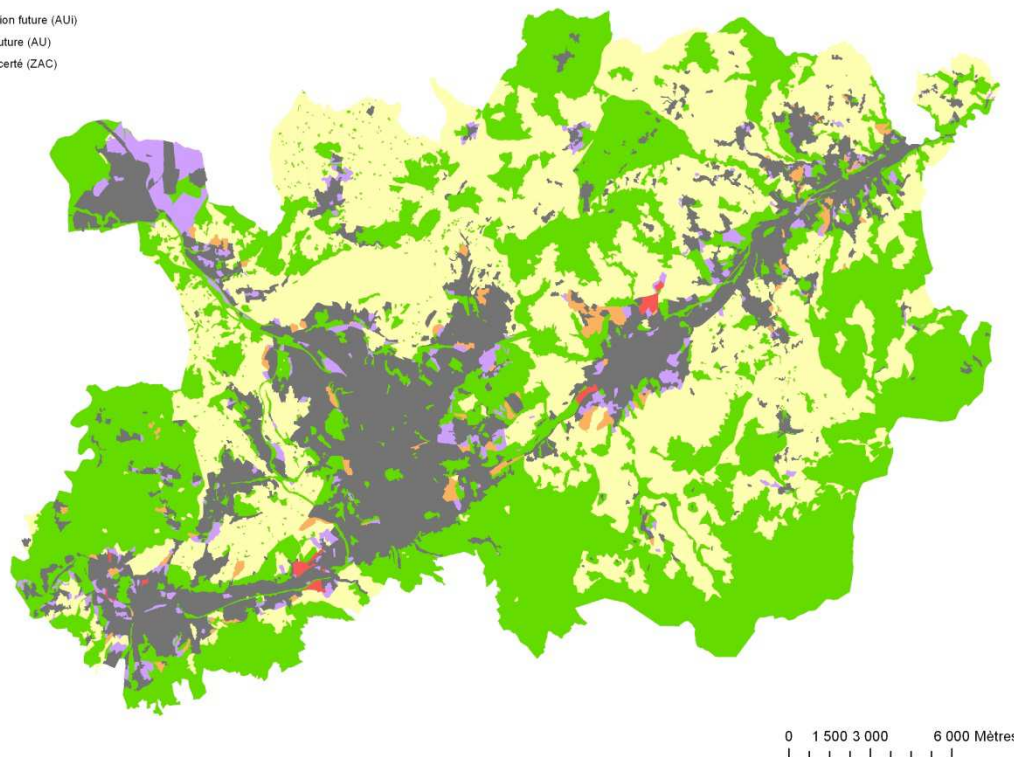


Figure 50 : Zonages du Plan Local d'Urbanisme de Saint-Étienne Métropole

#### Zonages planification Scot

ossem\_scot\_planifCE

##### LIBELLE

- agriculture specialisee
- coeur vert
- corridor ecologique fuseau
- corridor ecologique lineaire
- enveloppe potentiellement urbanisable
- periurbain a dominante rurale

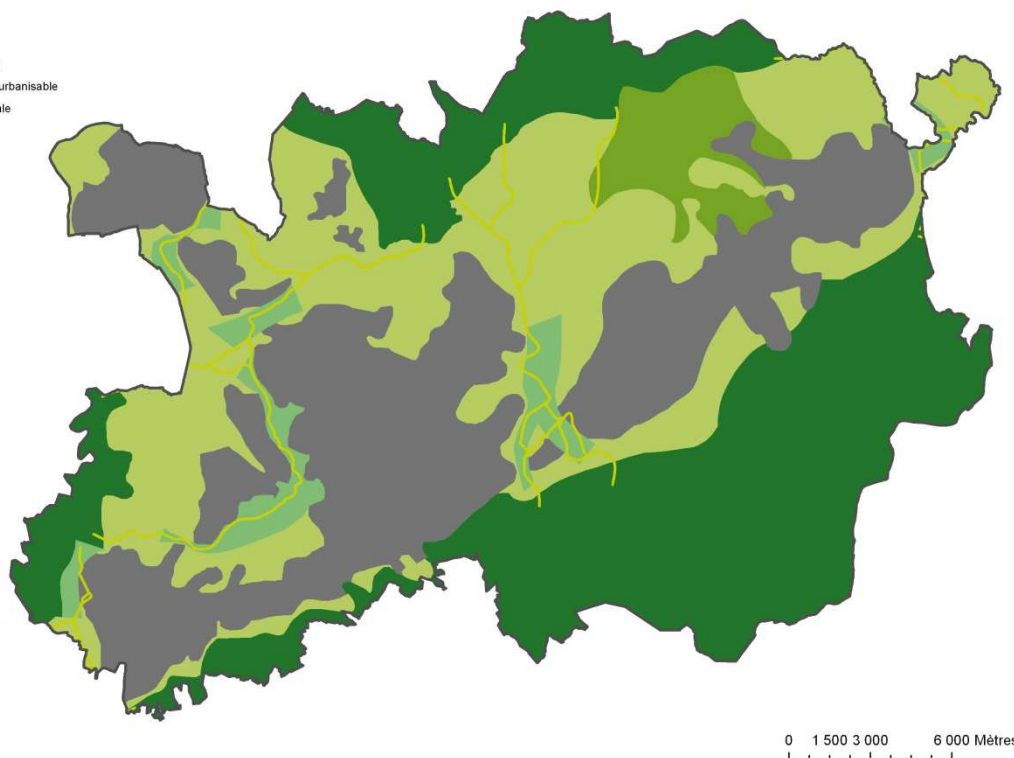


Figure 51 : Zonages du Schéma de Cohérence Territoriale Sud-Loire dans le territoire de Saint-Étienne Métropole

Périmètres de protection des espaces agricoles et naturels périurbains

ossem\_PAEN

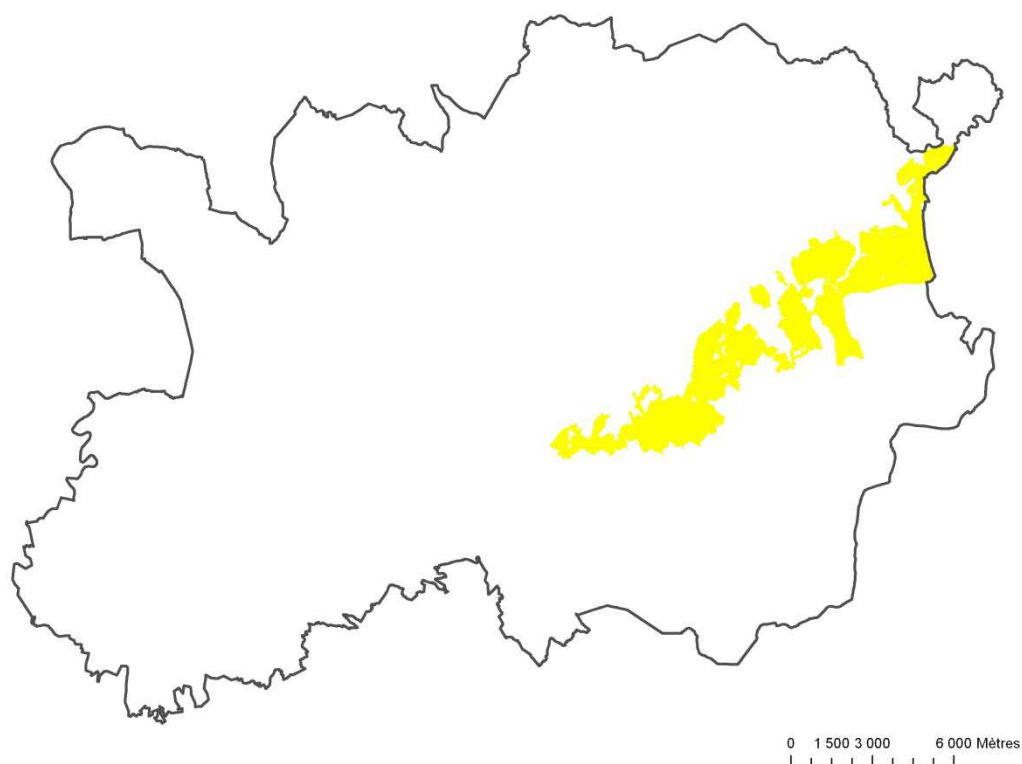


Figure 52 : Zonage des périmètres de protection et de mise en valeur des espaces agricoles et naturels périurbains (PAEN)

Plans de Prévention des Risques

ossem\_pprnit\_UnionClip

Id

- Zone non constructible
- Zone constructible sous condition

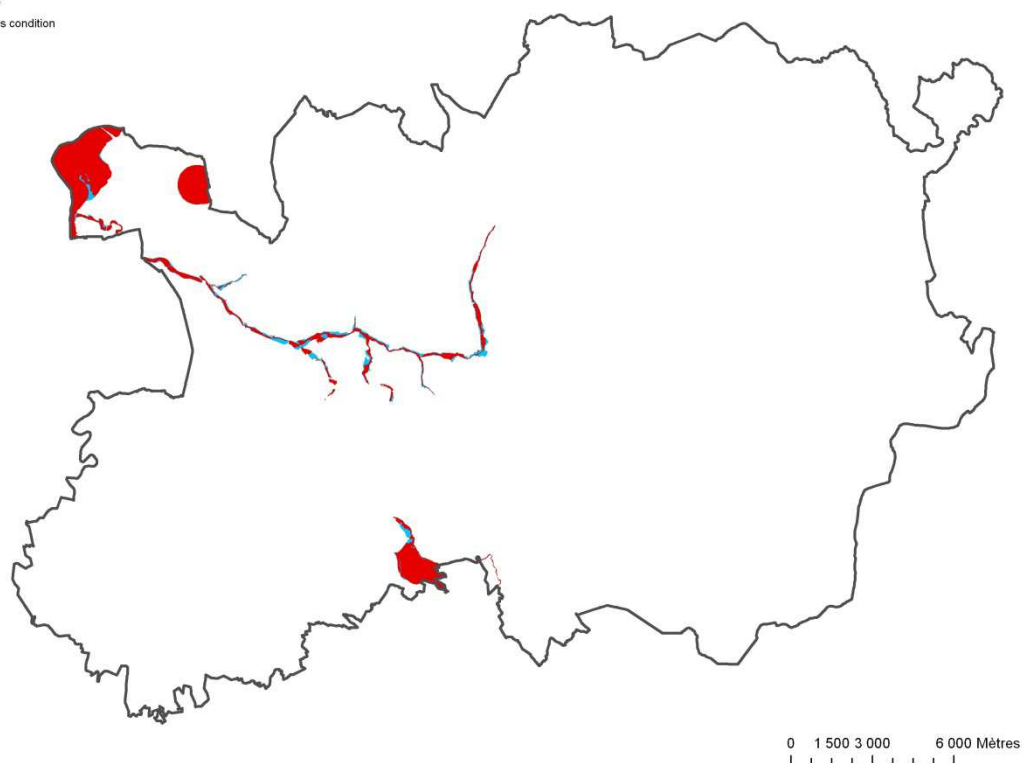


Figure 53 : Zonages des Plans de Prévention des Risques Naturels, Industriels et Technologiques



La combinaison des contraintes précédentes dans le SIG donne le résultat ci-dessous (Figure 54). Il s'agit là du zonage des contraintes pris en compte dans le scénario planification.

Combinaison des zones inconstructibles

Constructible sous condition  
Inconstructible (PLU, Scot, PPR, PAEN)

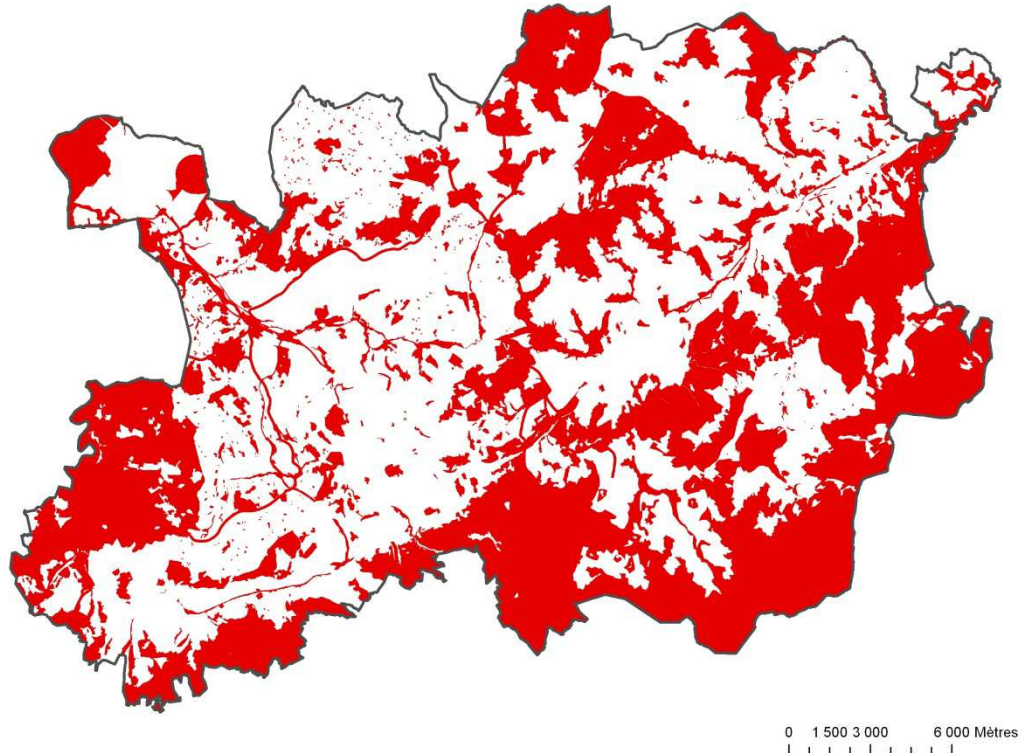


Figure 54 : Zonages des contraintes prises en compte dans la simulation du scénario de planification

Néanmoins, les prescriptions des règlements des PLU qui délimitent les zones agricoles, naturelles et à urbaniser ne peuvent pas être considérées comme absolues. Ces documents ne sont censés encadrer le développement urbain que durant une décennie, horizon inférieur à celui de notre simulation. Par ailleurs, ils résultent de la traduction d'un projet politique et sont donc toujours susceptibles d'être remis en cause. Ils ont donc été intégrés dans le système sous forme de contraintes atténuées : une priorité forte est donnée à ces zones, mais on laisse la possibilité que des allocations contraires soient possibles, en particulier pour distribuer de nouvelles zones urbanisées en dehors des périmètres prévus dans la période postérieure aux PLU. Dans la simulation spatiale du scénario de planification (Figure 55), la valeur fixée à 0.5 au zonage ci-dessus en fait une zone de contrainte atténuée (0 en aurait fait une zone de contraintes strictes). La valeur fixée à 1.5 en aurait fait une zone d'incitation. La valeur fixée à 1 aurait laissé libre le modèle

L'intégration des contraintes atténuées contribue à orienter l'extension de l'urbanisation vers d'autres zones que celles où elle se serait développée spontanément dans le prolongement des tendances passées.



## 2030 S. planification

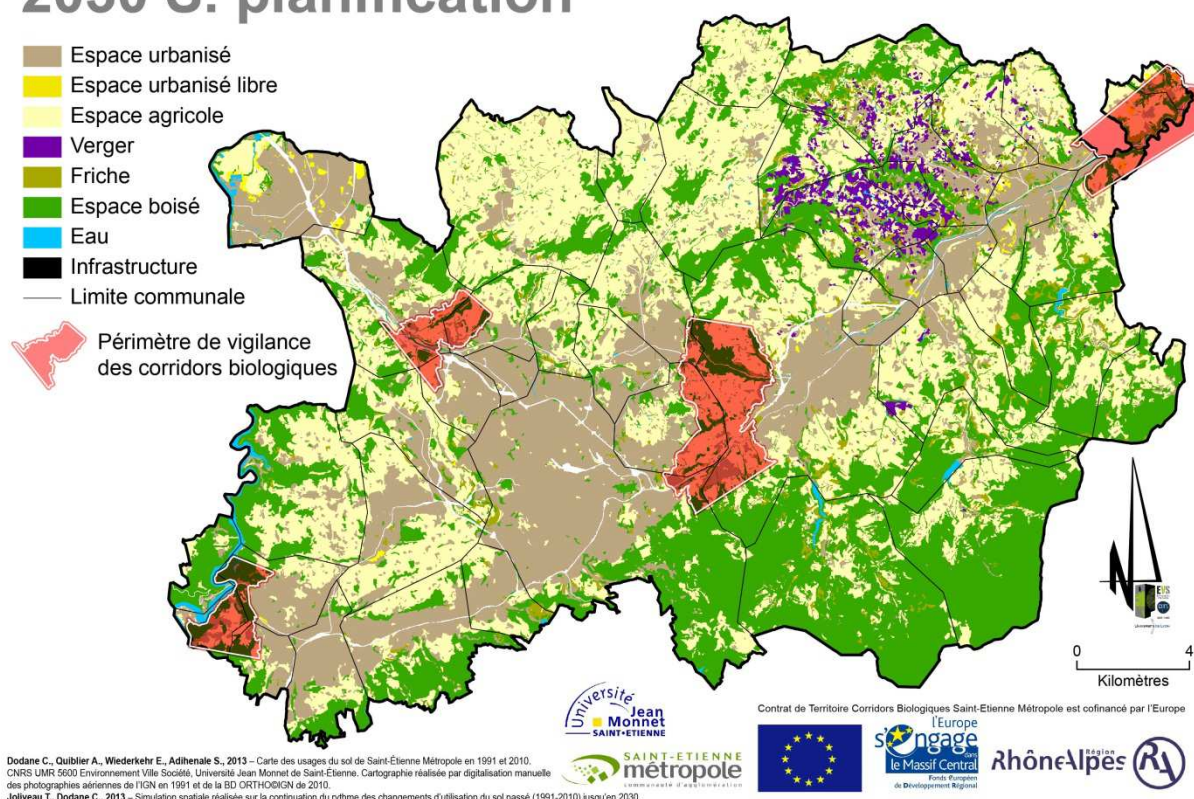


Figure 55 : Simulation des effets des outils de la planification dans le territoire de Saint-Étienne Métropole en 2030

### III.1.c Scénario densification

La question de la densification est une des clés de l'urbanisation future. Pour approcher cette question avec un jeu de données à la typologie relativement agrégée, la seule variable sur laquelle il est possible d'intervenir est la part de transition de tous les autres modes d'occupation du sol vers les espaces urbanisés. Pour les urbanistes la densité urbaine correspond à un nombre de logements par hectare. Les ambitions de la planification, à l'échelle du Scot Sud-Loire (périmètre qui dépasse celui de Saint-Étienne Métropole), sont d'accueillir 50 000 habitants supplémentaires en construisant environ 50 000 nouveaux logements d'ici 2030, dans une enveloppe urbaine dédiée à l'habitat qui ne pourra croître que de 1480 ha au maximum (données du SCOT Sud-Loire). Cette relation suppose que la réduction des extensions pavillonnaires a pour corollaire une augmentation du nombre de logements à travers un accroissement de la densité urbaine, vers des formes de bâti individuel groupé ou d'habitat intermédiaire. Elle suppose également, que l'augmentation des surfaces en renouvellement urbain a pour corollaire une augmentation du nombre de logements à travers un accroissement de la densité urbaine, vers des formes de bâti collectif. C'est tout du moins le pari que font les planificateurs et qui se matérialise sur le terrain par une pression des PLU sur la disponibilité du foncier à bâtir (limité) et sur les incitations au renouvellement (hauteurs de construction et SHON relevées).

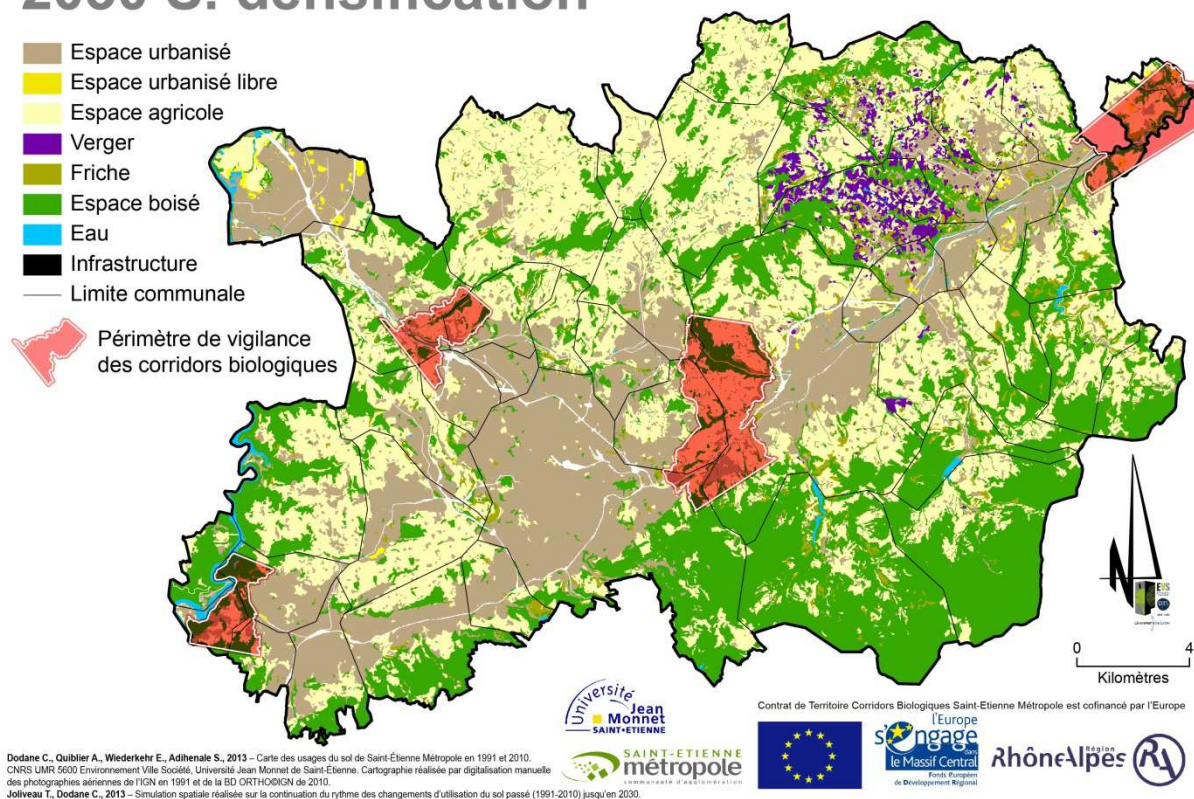
Dans ce scénario (Figure 56), les transitions ont été réduites par rapport au rythme passé de façon à obtenir -20% en surface d'espaces urbanisés par rapport au scénario tendanciel. Le calcul s'est fait en intégrant les contraintes réglementaires de la planification. La comparaison

des résultats de ce scénario avec ceux du scénario tendanciel montre que cette réduction produit un effet de rétractation de la tâche urbaine à horizon 2030.

Le pourcentage choisi est celui que les experts réunis en atelier ont souhaité voir tester. Il peut sembler très ambitieux. Il nécessiterait une étude approfondie des dynamiques démographiques entre 1990 et 2010 pour être affiné à l'échelle de Saint-Etienne Métropole, en tenant compte des ambitions du Scot Sud-Loire territorialisées. L'une des difficultés, par exemple, réside dans le fait que la ville de Saint-Étienne continue de perdre des habitants depuis plusieurs décennies tout en continuant l'extension de sa tâche urbaine.

Le chiffre de - 20% est donc à considérer comme une ambition plutôt qu'un ajustement par les chiffres.

## 2030 S. densification



**Figure 56 : Simuler un effort de densification dans le territoire de Saint-Étienne Métropole en 2030**

## IV. Conclusion

Sans revenir sur l'ensemble des résultats obtenus dans le cadre de cette étude, il nous paraît intéressant de conclure sur le fait que l'ensemble des données géographiques récupérées et produites, que le modèle d'évolution de l'utilisation du sol et l'arène participative amorcée peuvent constituer les bases de cette démarche d'observation du territoire.

Enfin, du point de vue des aménageurs et des gestionnaires, les résultats obtenus répondent à un certain nombre de besoins exprimés :

**D'ordre méthodologique** - Enrichir la connaissance générale d'un système territorial avec des outils permettant de « faire jouer » et d'activer la réflexion, en combinant :

- Un **jeu de données d'utilisation du sol multi-dates**,
- Une **méthode** visant à estimer la **fragmentation paysagère** combinant des **indices de densité et de connectivité**,
- Des **techniques de simulations spatiales**,

Des **méthodes de prospective**.

**D'ordre opérationnel** :

- Pour l'amélioration de l'information (données) et un **approfondissement des dispositifs d'observation du territoire**,
- Pour une **meilleure connaissance des processus spatiaux passés et en cours**, afin d'anticiper les processus futurs (relations dynamiques et interactions spatiales),
- Pour une **prise de recul sur les outils de la planification territoriale** et leur efficacité, par exemple durant la phase d'élaboration d'un Scot.

## Bibliographie

Batany A., Houry L., Joao A., Pillet Monuauze S., 2012. Les corridors écologiques : « Conception d'un outil de suivi scientifique, technique et d'aide à la décision ». Rapport gestion de projet, M2 SIG et Gestion de l'espace. Université Jean Monnet de Saint-Étienne, 68 p.

Braud I. (coord.) (2011). *Rapport final du projet AVuPUR (Assessing the Vulnerability of Peri Urban Rivers)*, ANR Vulnérabilité Milieu Climat 2007. Lyon : Cemagref, 48 p.

Dodane C., Joliveau T., Honegger A. (2014) *Simuler les évolutions de l'utilisation du sol pour anticiper le futur d'un territoire. Analyse critique d'une expérience de géoprospective dans un bassin versant périurbain de l'agglomération lyonnaise*, soumis à CyberGeo.

Gourmelon F., Houet T., Voiron-Canicio C., Joliveau T., 2012, *La géoprospective, apport des approches spatiales à la prospective*, L'Espace géographique, Vol. 12, No. 2.

Lardon S., Piveteau V. 2005. *Méthodologie de diagnostic pour le projet de territoire : une approche par les modèles spatiaux*, Géocarrefour, vol. 80/2, 75-90.

Lardon S. 2007. Analyse spatiale pour le diagnostic et le projet de territoire. In Lardon S., Moquay P., et Poss Y. editors, *Développement territorial et diagnostic prospectif. Réflexions autour du viaduc de Millau*, Essai, pages 169–191. Éditions de l'Aube.

Phua, M.-H., Conrad, O., Kamlun, K.U., Fischer, M., Böhner, J., 2008. Multitemporal Fragmentation Analysis of Peat Swamp Forest in the Klias Peninsula, Sabah, Malaysia using GIS and Remote Sensing Techniques, in: SAGA – Seconds Out., *Hamburger Beiträge Zur Physischen Geographie Und Landschaftsökologie*. pp. 81–90.

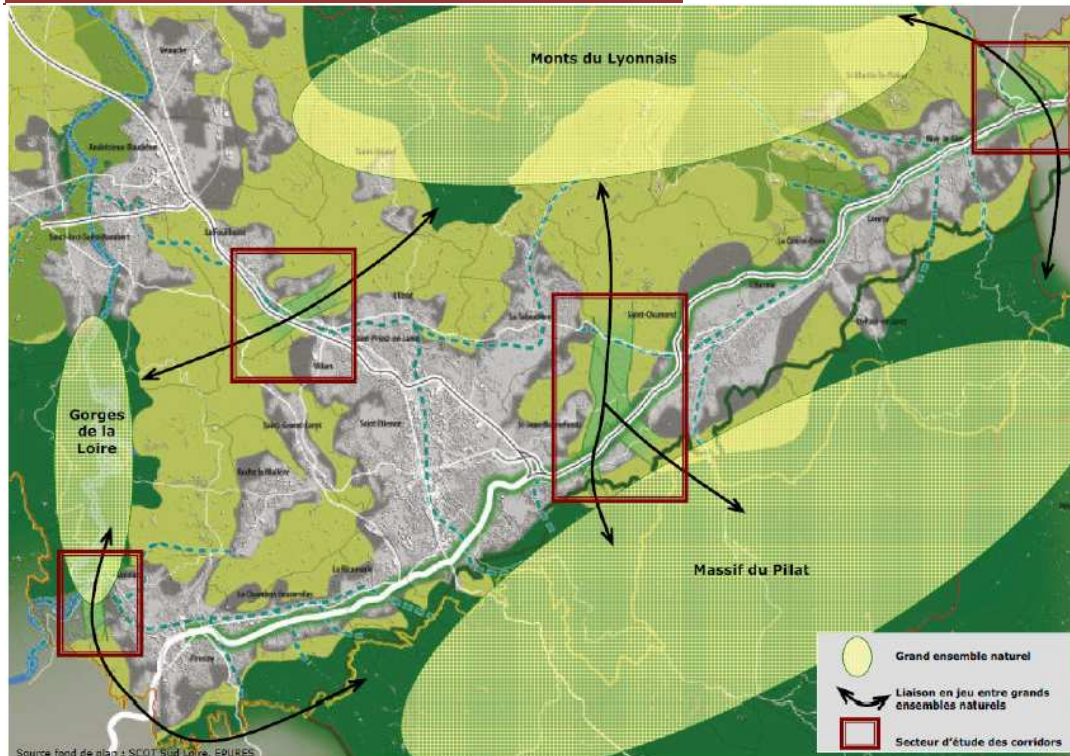
Riitters, K., Wickham, J., O'Neill, R., Jones, B., Smith, E., 2000. Global-scale patterns of forest fragmentation. *Conserv. Ecol.* 4, 18–18.

Riitters, K.H., Wickham, J.D., O'Neill, R.V., Jones, K.B., Smith, E.R., Coulston, J.W., Wade, T.G., Smith, J.H., 2002. Fragmentation of Continental United States Forests. *Ecosystems* 5, 0815–0822. doi:10.1007/s10021-002-0209-2

Turner, B., Skole, D., Sanderson, S., Fischer, G., Fresco, L. et Leemans, R., 1995. *LUCC science research plan : Land-use and land-cover change*. Report n. 35 and hdp report n. 7, Stockholm and Geneva.

## Annexe A Synthèse de la pré-étude de faisabilité d'un outil de géovisualisation





Source : ÉTUDE DES CORRIDORS ECOLOGIQUES DE SAINT-ÉTIENNE METROPOLE, ASCONIT, Juillet 2010

# Les corridors écologiques

Conception d'un outil de suivi scientifique,  
technique et d'aide à la décision

Réflexions dans le cadre de la mise en œuvre du  
Contrat de Territoire des Corridors Biologiques



*« L'enrichissement de ce pot commun d'informations ne peut fonctionner  
sans la participation et le soutien de chaque partenaire »*

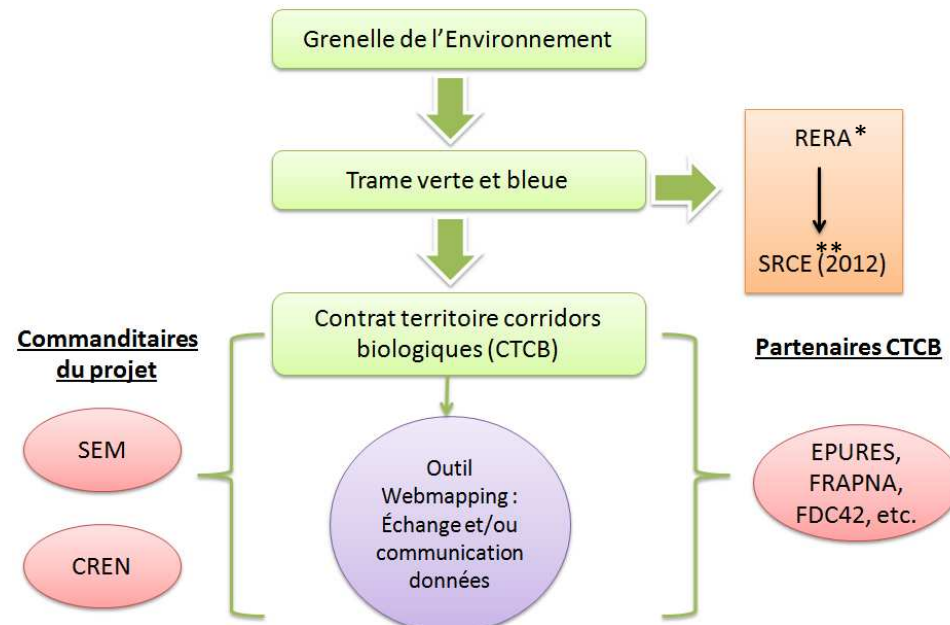


Réalisé par: Aurélie BATANY, Laura HOURY, Adeline JOAO, Séverine PILLET-MONJAUZE

Etudiantes en Master 2 SIG et Gestion de l'Espace, Saint-Etienne



## Contexte



\*RERA : Réseaux Ecologiques de Rhône-Alpes

\*\*SRCE : Schéma Régional de Cohérence Ecologique

Saint-Etienne Métropole (SEM) et le Conservatoire Rhône-Alpes des Espaces Naturels (CREN) souhaitent développer **un outil de géovisualisation des corridors écologiques afin de participer à la protection et la restauration de 4 grands corridors écologiques à l'échelle de l'agglomération stéphanoise.**

## But de l'outil :

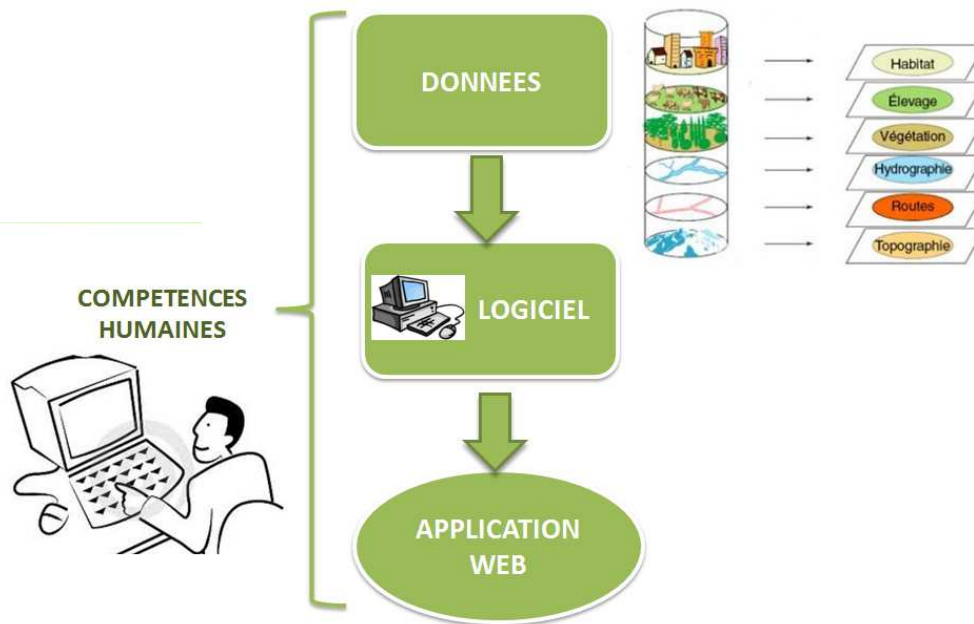
Cet outil doit permettre, aux partenaires du projet, à un premier niveau de fonctionnalité, de visualiser les données utilisées et produites dans le cadre du CTCB (occupation et utilisation du sol, passages de la faune sauvage, etc.). A un second niveau, il pourrait offrir aux partenaires la possibilité d'échanger des données cartographiques.

Cet outil serait **accessible à tous les partenaires** sur Internet. Il est envisagé comme étant **collaboratif, participatif et évolutif**. Les partenaires pourront y ajouter leurs données cartographiques afin de pouvoir visualiser et analyser l'ensemble des grands thèmes liés à l'aménagement du territoire autour des corridors écologiques.

In fine, il s'agit de faire de ce projet un véritable **outil d'aide à la décision** qui permette d'éclairer les décisions des élus sur la base **d'un suivi et d'une évaluation technique et scientifique des actions.**

## Qu'est-ce qu'un outil Webmapping ?

Définition d'un Webmapping : application web = outil de géovisualisation



Le Webmapping regroupe l'ensemble des technologies permettant d'afficher une carte dynamique par internet.

Il s'agit donc d'un outil qui permet de partager un grand nombre de données et de réaliser des requêtes pour retourner les données souhaitées sous forme de cartes.

Pour mettre en place cet outil, les partenaires devront mobiliser des compétences humaines et techniques spécifiques.

Il leur faudra également se mettre d'accord sur les données pertinentes à partager et réfléchir à la question des logiciels de bases de données et de SIG à utiliser.

## Besoins des partenaires

		Un outil de géovisualisation pour ?	Eléments de réflexion
Partenaires / Assistant maitrise d'ouvrage	SEM	Aider à la <b>décision/ communiquer</b> (élus)	<b>Support</b> au projet : porté à connaissance
	CREN	<b>Suivre</b> le projet (ensemble des partenaires)	<b>Partage</b> des données de terrain Pertinence des données <b>Echelle</b> au 1/5000ème
	DDT 42	<b>Visualiser</b> et <b>gérer</b> des données	Avoir facilement des cartes <b>Echanger</b> les données
	FDC42	<b>Communiquer</b> (élus et agriculteurs) <b>Valoriser</b> l'expérience de SEM	Outil <b>intuitif</b> /simple d'utilisation
	PNR Pilat	<b>Suivre</b> les actions conduites	Intérêt pour la <b>mise à jour</b> et le côté <b>évolutif</b>
	CG 42	<b>Synthétiser</b> des informations scientifiques <b>Communiquer</b> (élus)	<b>Visualisation très précise</b> des actions (échelle au 1/5000ème)
	FRAPNA/LPO	<b>Connaître</b> les projets d'aménagements dans les zones de protection concernés / l'impact de ces projets <b>Faire prendre conscience</b> de la biodiversité existante	Outil <b>simple d'utilisation</b>
	EPURES	<b>Vulgariser</b> (grand public)	<b>Conventionnement</b> <b>Multiplicité des partenaires</b>

L'ensemble des partenaires du CTCB ont été rencontrés ou entendus au sujet du développement d'un outil de géovisualisation.

Plusieurs besoins ont été identifiés. Ils portent sur un **outil de visualisation et d'échange des données cartographiques** entre les partenaires du CTCB et au-delà; sur un **outil de suivi et d'évaluation technique et scientifique** des actions menées dans le cadre du CTCB, sur un **outil d'aide à la décision** qui permette d'éclairer des élus, sans oublier la dimension communicative de l'outil qui offre la possibilité de vulgariser les résultats qui seront obtenus.

Il ressort que l'outil à mettre en œuvre aurait de multiples finalités. Il sera donc nécessaire de faire des choix et de réaliser des arbitrages afin d'arriver à un **consensus commun avant le lancement** des études technique sur le projet.



## Trois scénarii pour un outil de géovisualisation

### ➤ Scénario 1 : Webmapping

**Application cartographique disponible sur le web permettant à un utilisateur de visualiser des cartes statiques contenant des informations géographiques.**

**-Atouts :** consultation des données seulement, ergonomie simple et intuitive, grand public, performances rapides, mise en œuvre et maintenance par un géomaticien, coût faible.

**-Contraintes :** cartes statiques, fonctionnalités limitées.

### ➤ Scénario 2 : Webmapping avancé

**Application cartographique, dynamique et interactive disponible sur le web permettant à un utilisateur de visualiser des cartes contenant des informations géographiques.**

**-Atouts :** consultation et requêtes sur les données, cartes interactives, ergonomie simple et intuitive, fonctionnalités avancées, mise en œuvre et maintenance par un géomaticien, performances rapides, coût moyen.

**-Contraintes :**

### ➤ Scénario 3 : Web SIG

**Application cartographique, dynamique et interactive disponible sur le web permettant à un utilisateur de visualiser des cartes contenant des informations géographiques et d'effectuer des requêtes complexes.**

**-Atouts :** consultation et requêtes complexes sur les données, cartes interactives, performant.

**-Contraintes :** interface complexe, professionnel, délai d'exécution, mise en œuvre et maintenance par un géomaticien et informaticien, coût élevé.

## Mise en œuvre

**Etape 1 :** Réalisation d'une étude de faisabilité, afin de mieux cibler l'outil de géovisualisation et son contexte de mise en œuvre (5 mois).

1.1 proposer des outils

1.2 réaliser des tests

1.3 sélectionner un outil

**Etape 2 :** Rédaction des recommandations pour faciliter l'élaboration du cahier des charges de l'outil de géovisualisation (1 mois).

**Etape 3 :** Mise en œuvre technique de l'outil : récupération des données, homogénéisation des données, installation de l'interface,... (De 6 mois à 1 an).

**Etape 4 :** Suivi et maintenance de l'outil (De la mise en œuvre à la fin du projet).